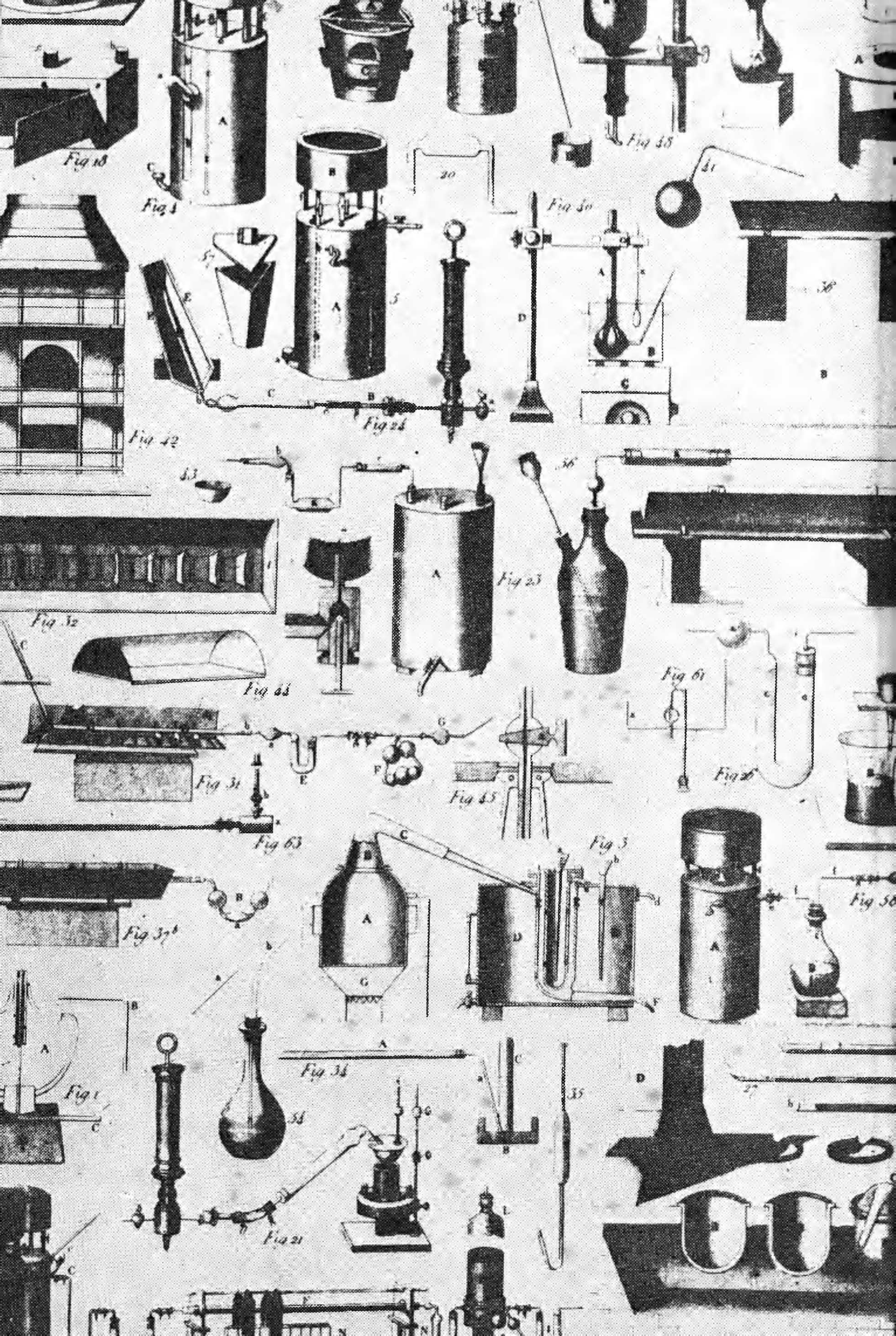
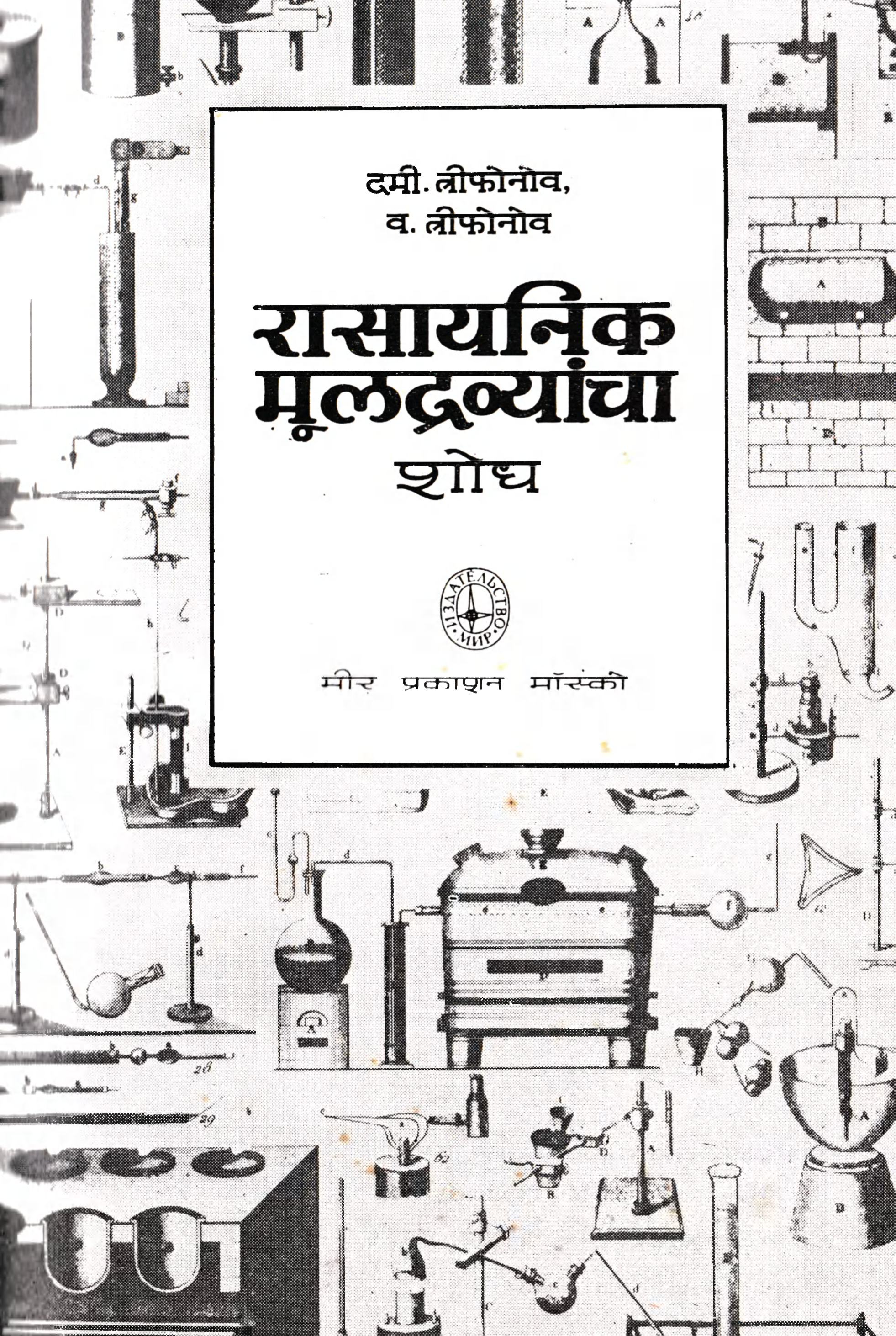
दमी. त्रीफोनोव, व. त्रीफोनोव

रासायनिक मूलद्रव्यांचा शोध



मीर प्रकाशन
मॉस्को


Fig 18
Fig 1
Fig 48
20
41
Fig 40
Fig 24
Fig 42
43
Fig 23
Fig 32
Fig 44
Fig 61
Fig 31
Fig 45
Fig 26
Fig 63
Fig 3
Fig 34
35
Fig 21
27



दमी. त्रीफोनोव,
व. त्रीफोनोव

रासायनिक मूलद्रव्यांचा शोध

मीर प्रकाशन मॉस्को

अनुवाद : राजेंद्र सहस्रबुद्धे

Д. Н. Трифонов, В. Д. Трифонов

КАК БЫЛИ ОТКРЫТЫ
ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Издательство «Просвещение»
Москва

На языке маратхи

अनुक्रमणिका

भाग पहिला. निसर्गातील मूलद्रव्यांचा शोध

भाग दुसरा. संश्लेषित मूलद्रव्ये

वाचकांशी हितगूज

रसायनशास्त्राच्या भाषेची खास मुळाक्षरे आहेत. रासायनिक मूलद्रव्यांची चिन्हे म्हणजेच ही अक्षरे होत. या अक्षरांपासून तयार झालेल्या शब्दांची – विविध प्रकारच्या रासायनिक संयुगांची – तर गणतीच नाही. चाळीस लाखा-पेक्षा जास्त संयुगे आजच अस्तित्वात असून प्रत्येक आठवड्यागणिक निदान सहा हजार संयुगांची तरी त्यात भर पडत आहे. खरे सांगावयाचे म्हणजे रसायनशास्त्रातील या "शब्द-उभारणी"च्या क्रियेस ना आदी, ना अंत!

खुद्द मुळाक्षरांची ऊर्फ मूलद्रव्यांची संख्या अगदीच कमी म्हणजे सध्या तरी केवळ १०७ च आहे. पण ह्या मुळाक्षरांची जमवाजमव करण्याचे काम मात्र काही हजार वर्षांपासून चालू आहे. त्यातही वैशिष्ट्य हे की त्यापैकी बहुतेक सारी अक्षरे तर मागील दोन शतकांमध्येच माहीत झाली आहेत. याच छोट्याशा कालावधीत रसायनशास्त्राकडे "एक स्वतंत्र शास्त्र"-म्हणून पाहण्यास सुरुवात झाली.

साऱ्या सजीव आणि अ-कार्बनी पदार्थांचे घटक असणारी रासायनिक संयुगे ही सुमारे ८० मूलद्रव्यांच्या विविध प्रकारे होणाऱ्या जुळवाजुळवीतून तयार होतात. उर्वरित मूलद्रव्ये निसर्गात जवळजवळ सापडतच नाहीत असे म्हटले तरी चालेल. न्यूक्लीय अभिक्रियांचा वापर करून शास्त्रज्ञ त्यांची कृत्रिमरित्या निर्मिती करतात. यामार्गे, नवनवीन मूलद्रव्यांचा शोध लावता येतो खरा, पण किती ते मात्र सांगणे कठीण आहे. एक वस्तुस्थिती मात्र मान्य करावयासच हवी, की रासायनिक मुळाक्षरे अजून संपलेली नाहीत व कदाचित संपणारही नाहीत!

या पुस्तकामध्ये आपण रसायनशास्त्रातील "मुळाक्षरां"ची कशी रचना झाली, तसेच आपल्या चौकस बुद्धिमत्तेतून संशोधकांनी एकामागोमाग एकेका नव्या मूलद्रव्याचा शोध कसा लावला याचे विवेचन करणार आहोत.

बहुतेक सर्व रासायनिक मूलद्रव्यांवर अनेक पुस्तके लिहिली गेली आहेत. त्यांची संख्या एवढी प्रचंड आहे की त्यांचे एक स्वतंत्र ग्रंथालयच होईल. त्या पुस्तकांमध्ये, मूलद्रव्यांचा अंतर्भाव असणारे खडक व खनिजे, त्यांच्या निष्कर्षणाच्या विविध पद्धती, मूलद्रव्यांचे भौतिक आणि रासायनिक गुणधर्म यांचा आढावा घेतलेला असतो. काही मूलद्रव्ये आश्चर्य वाटण्याएवढी मुबलक आहेत. त्यांचे उपयोगही अनपेक्षित वाटावेत एवढ्या भिन्नभिन्न क्षेत्रात केलेले आढळतील. खरे तर आजच्या प्रगत वैज्ञानिक युगात प्रत्येक मूलद्रव्याचा काहीना काहीतरी महत्त्वपूर्ण उपयोग आहेच आहे असेच दिसेल.

प्रत्येक मूलद्रव्याचे त्याचे स्वतःचे असे खास "चरित्र" असून ती सारी आपापल्या परीने वैशिष्ट्यपूर्णही आहेत. हे खरे की मूलद्रव्यांच्या शोधांच्या इतिहासाबाबत अद्यापीही बरीच संदिग्धता आहे व इतिहासकारांना न सुटलेले प्रश्न अजूनही सोडविता आलेले नाहीत. कुणी सांगावे, त्यांच्यापैकी एखादा-दुसरा इतिहासकार तुम्हीही असू शकाल!

विषय-प्रवेश

सुमारे ऐंशी वर्षांपूर्वी क्लेमेन्स विंक्लर नामक ज्या जर्मन रसायन-शास्त्रज्ञाने जर्मेनिअमचा शोध लावला त्यानेच जगाच्या रंगभूमीवर मूलद्रव्याच्या पदार्पणाची नांदी केली. त्यानंतर या मूलद्रव्याच्या भूमिकांनी सजलेली एकेक दृश्ये एकामागून एक याप्रमाणे दिसू लागली. विंक्लर म्हणतो की प्रत्येक मूलद्रव्याने त्याची खास अशी विशिष्ट भूमिका केली आहे, कधी ती दुय्यम स्वरूपाची असेल तर कधी ती खुद्द नायकाची असेल. ज्या जर्मेनिअमचा शोध विंक्लरने लावला ते "एका-सिलिकॉन" या नावाखाली मेंदेलेयेव यांनी तत्पूर्वीच वर्तविले होते.

शोध लागलेल्या व मानवाला माहीत असलेल्या मूलद्रव्यांचे महत्त्व विंक्लरने अशा प्रकारे चित्रित केलेले आढळते.

मूलद्रव्यांच्या शोधाचा इतिहास जर नीटप्रकारे विचारात घेतला तर त्यामध्ये महत्त्वाचे, दुय्यम दर्जाचे असा भेदभाव करताच येणार नाही. साऱ्याच मूलद्रव्यांमध्ये, आपले लक्ष सारखेच वेधून घेण्याची एकसमान पात्रता आहे असेच दिसून येईल. मग, मूलद्रव्यांचा इतिहास कोणत्या क्रमाने व कोणत्या पद्धतीने सादर करावयाचा हे आपल्याच हाती नाही का?

हायड्रोजन, हेलिअम, लिथिअम... ते मूलद्रव्य क्र. १०७, याप्रमाणे मूलद्रव्याच्या वाढत्या अणु-अंकानुसार आपण त्यांची ओळख करून घेऊ शकतो, किंवा आवर्ती कोष्टकातील ठराविक गटांतील मूलद्रव्यांची माहिती क्रमाक्रमानेही देता येईल. अथवा मूलद्रव्यांच्या आद्याक्षरांचा जो वर्णानुक्रम येईल, त्यानुसारही एकेकाची ओळख करून घेणे शक्य आहेच.

परंतु, आमच्या मतानुसार, या साऱ्या पद्धती फार उचित आहेत असे नाही. शोधांच्या कालक्रमामध्ये त्या साऱ्यांमुळे मोठा व्यत्यय येतो. म्हणूनच, कालक्रमानुसार मूलद्रव्यांची माहिती देणे सर्वोत्तम ठरते. त्यामुळेच आम्ही कालानुक्रमच आधारभूत ठरविला आहे.

पण तत्पूर्वी, "रासायनिक मूलद्रव्य" या शब्दप्रयोगातून नेमका कोणता अर्थ व्यक्त होतो ते पाहू या.

"रासायनिक मूलद्रव्य" या संज्ञेमागील संकल्पना

एका ठराविक प्रकारच्या अणूंचे एकत्रीकरण म्हणजे मूलद्रव्य असे म्हणता येते. अणूमध्ये केंद्रक (अणुगर्भ) व त्याच्याभोवती फिरणारे इलेक्ट्रॉन असतात. प्रत्येक केंद्रकावर निश्चित असा धनप्रभार असून तो (लॅटिन भाषेतील) Z या अक्षराने दर्शविला जातो. तसेच खुद्द अणूवरील एकूण प्रभार हा त्याच्या केंद्रकात असणाऱ्या मूलकणांच्या (प्रोटॉनच्या) संख्येवर अवलंबून असतो. प्रोटॉनवरील (धन) प्रभार हा, इलेक्ट्रॉनवरील (ऋण) प्रभाराचे जे काही परिमाण असेल, नेमका तेवढाच असतो. याचा दुसरा अर्थ असा होते की केंद्रकातील प्रोटॉनच्या संख्येमुळे (Z) इलेक्ट्रॉन-कवचांतील इलेक्ट्रॉनची संख्या ठरते अथवा ठरविता येते. मूलद्रव्यांचे रासायनिक गुणधर्म आणि एकंदर प्रवृत्ती, या दोन गोष्टी, इलेक्ट्रॉन कवचांमध्ये इलेक्ट्रॉन कसकसे वाटले गेले आहेत यावर अवलंबून असतात. हे लक्षात घेता केंद्रकीय प्रभार (Z) हाच मूलद्रव्यांच्या गुणधर्मांचा "कर्ता-करविता" असतो हे ओघानेच येते. दुसरी वस्तुस्थिती अशी की Z ची किंमत आणि आवर्ती कोष्टकातील मूलद्रव्याचा अणुअंक एकसमान असतात. उदाहरणार्थ, ऑक्सिजन अणूवरील (ज्याचा अणुअंक ८ आहे) धनप्रभार ८ एवढाच भरतो, म्हणजेच त्यामध्ये ८ प्रोटॉन आहेत.

अशाप्रकारे, मूलद्रव्य म्हणजे अणूंचा एक संच असून त्यावरील केंद्रकीय प्रभार Z हा त्या मूलद्रव्याची आवर्ती पद्धतीतील जागा निश्चित करतो.

एकाच मूलद्रव्यातील अणु एकमेकांपासून वेगवेगळे असू शकतील काय? याचे उत्तर होकारार्थी ठरते. प्रोटॉनव्यतिरिक्त केंद्रकामध्ये न्यूट्रॉनही असतातच. त्यांची वजने विचारात घेता त्यामध्ये किंचित्सा फरक दिसतो. पण महत्त्वाची बाब म्हणजे न्यूट्रॉनवर कोणत्याच प्रकारचा प्रभाव नसतो, म्हणजेच न्यूट्रॉन उदासीन किंवा तटस्थ असतात. न्यूट्रॉनव्यतिरिक्त केंद्रक नाहीच, म्हणजेच प्रत्येक अणूच्या केंद्रकात न्यूट्रॉन असणारच. [यास अपवाद एकच, तो म्हणजे सर्वात हलके मूलद्रव्य – हायड्रोजन. हायड्रोजन म्हणजे एकुलता एक प्रोटॉन, बस्स! तथापि, वेगवेगळ्या प्रकारचे हायड्रोजन अस्तित्वात

असतात व त्यांच्या अणूंमध्ये (केंद्रकात) मात्र प्रोटॉनसह न्यूट्रॉनही असतात] केंद्रकातील प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनच्या वजनांची बेरीज केली की त्या मूलद्रव्याचे वजन (खरे तर वस्तुमान) मिळते. हे करताना इलेक्ट्रॉन विचारात घेतले जात नाहीत, कारण त्यांचे वजन न्यूट्रॉन-प्रोटॉनच्या तुलनेने अगदीच नगण्य असते (प्रोटॉनच्या तुलनेने इलेक्ट्रॉन १८४० पटीनी हलका असतो). केंद्रकातील न्यूट्रॉनची संख्या वेगवेगळी असणे अगदी शक्य असते आणि तशी असल्यास त्या अणूंना "समस्थानीय अणु" किंवा नुसतेच "समस्थानीय" असे म्हटले जाते. इंग्रजीत त्यास "आयसोटोप" हा शब्द असून तो ग्रीक भाषेतील "आयसो" म्हणजे "समान" व "टोपोस" म्हणजे "जागा" या शब्दांपासून तयार झाला आहे. त्याचा अर्थ हा की एखाद्या मूलद्रव्याचे जरी अनेक समस्थानीय आढळत असले तरी "आवर्ती कोष्टका"तील त्यांची जागा मात्र एकच असते. निसर्गात सापडणाऱ्या मूलद्रव्यांपैकी सुमारे तीन-चतुर्थांश मूलद्रव्यांचे समस्थानीय प्रकार आहेत. या मूलद्रव्यांना "समस्थानियांचे पुंज" असेच म्हणणे सयुक्तिक ठरेल. बाकीच्या मूलद्रव्यांचे समस्थानीय आढळत नाहीत, म्हणजेच त्या मूलद्रव्यात फक्त एकाच प्रकारचे अणु असतात.

रासायनिक मूलद्रव्याची संकल्पना जरी अगदी चपखल वाटणारी असली तरी प्रत्यक्षात मात्र ढोबळ मानाने, ठराविक केंद्रकीय प्रभार असणाऱ्या अणूंचा संच, एवढाच अर्थ त्यापासून ध्वनित होतो. व्यवहारात, मूलद्रव्याशी आपला संबंध नेहमीच्या साध्यासुध्या पदार्थांच्या अथवा विविध रासायनिक संयुगांच्या घटकांच्या स्वरूपात येतो. मूलद्रव्याचे मुक्त स्वरूप (असंयोगित) कसे असते ते पाहण्याची संधी मिळते. काही मूलद्रव्ये केवळ साधे पदार्थ म्हणूनही व संयुगांचे घटक म्हणूनही आढळतात तर काही मूलद्रव्ये फक्त दुसऱ्या मूलद्रव्यांबरोबरच संयोगित स्वरूपात पहावयास मिळतात. प्रामुख्याने या शेवटच्या प्रकारातील मूलद्रव्ये विपूल आहेत. निसर्गात, मूलद्रव्य कोणत्या स्वरूपात आहे याचा प्रभाव त्या त्या मूलद्रव्याच्या शोधाच्या इतिहासावर निश्चितच पडलेला आहे.

मूलद्रव्य शब्दाचा उद्‌गम

रसायनशास्त्राच्या इतिहासकारांमध्ये याबाबत एकमत नाही. त्यासंबंधी केवळ वाजवी अनुमाने अथवा अंदाज बांधता येतील. एवढे मात्र निश्चित

म्हणता येईल की आजच्या तुलनेने प्राचीन काळी हा शब्द अतिशय व्यापक संदर्भात वापरला जात असे. तसेच, त्यामागे तात्त्विक स्वरूपाची बैठकही होती.

एका कल्पनेनुसार "एलिमेंट" (मूलद्रव्य) हा इंग्रजी शब्द l, m, n आणि t या लॅटिन मुळाक्षरांपासून तयार झाला आहे. त्यांचे उच्चार अनुक्रमे "एल", "एम", "एन" आणि "टी" असे आहेत (लॅटिन भाषेत "इलेमेंट्स" हा शब्द रूढ आहेच). "मूलद्रव्य" अथवा "इलेमेंट" हा शब्द अशाप्रकारे तयार होतो असे दाखविण्यात शास्त्रज्ञांना कदाचित असेही सुचवावयाचे असावे की मुळाक्षरांपासून जसे शब्द तयार होतात त्याचप्रमाणे मूलद्रव्यांपासून निरनिराळी संयुगे तयार होणे शक्य आहे. हे स्पष्टीकरण जेवढे अनपेक्षित तेवढेच साधेसोपेही आहे. इतर अनेक स्पष्टीकरणे पहावयास मिळतातच, पण त्या साऱ्यांचाच येथे विचार करण्याची जरूरी नाही.

"मूलद्रव्या"चे "रासायनिक मूलद्रव्या"त रूपांतर

अणूची आधुनिक प्रतिकृती निर्माण होण्यापूर्वी अणूची संकल्पना निव्वळ तर्कावर अधिष्ठित होती. ॲरिस्टॉटल या प्राचीन तत्त्ववेत्त्याने अणूची एक व्याख्या पुढीलप्रमाणे सांगितली आहे: "ज्या साध्यासुध्या पदार्थांपासून हे विश्व तयार झाले आहे व त्यापैकी कोणत्याच पदार्थाचे दुसऱ्या पदार्थात रूपांतर करणे शक्य नाही, असे सामान्य पदार्थ म्हणजेच मूलद्रव्ये होत." ॲरिस्टॉटलची अशी धारणा होती की मुळात एक प्राथमिक वस्तु व चार मूलभूत गुणधर्म – उष्णता, थंडपणा, आर्द्रता आणि शुष्कता – असून त्यांचे विविध प्रकारे एकत्रीकरण होऊन अग्नी, पाणी, हवा आणि पृथ्वी ही भौतिक मूलद्रव्ये तयार झाली. इतर सर्व पदार्थ त्यांच्यापासूनच निर्माण झालेले आहेत. ॲरिस्टॉटलची ही विचारसरणी किमयागार आणि अनेक निसर्गवेत्ते यांच्या तत्त्वज्ञानाची आधारभूत बैठक ठरली.

१६ व्या शतकात पॅरॅसेल्सस या प्रसिद्ध शारीरवेत्त्याने व शास्त्रज्ञाने मूलद्रव्यांना जणू पृथ्वीच्या अधिकच "जवळ" आणले. त्याचे प्रतिपादन असे की सर्व पदार्थांची उभारणी पारा, क्षारद्रव्य आणि गंधक या तीनच द्रव्यांपासून होत असून हे तीन पदार्थ अनुक्रमे बाष्पनशीलता, घनत्व आणि ज्वलनशीलता या गुणधर्मांनी परिपूर्ण असतात.

तथापि, १७ व्या शतकातील सुप्रसिद्ध इंग्रज रसायनशास्त्रज्ञ रॉबर्ट बॉईल याचे विचार मात्र मूलद्रव्याची कल्पना अधिक सुस्पष्ट करण्यास खरी मदत करतात. "शंकेखोर रसायनशास्त्रज्ञ" या आपल्या पुस्तकात त्याने "मूलद्रव्ये म्हणजे विशिष्ट गुणधर्मांचे वाहक" या दृष्टिकोनावर टीकाच केली आहे. त्याच्या मतानुसार मूलद्रव्ये ही भौतिक स्वरूपाचीच असून त्यापासूनच घनपदार्थ तयार होतात. त्यांच्या मर्यादित संख्येची कल्पनाही त्याने आव्हेरली आणि त्यायोगे न कळत का होईना पण नव्या नव्या मूलद्रव्यांच्या शोधाचा मार्ग मोकळा केला तरीसुद्धा, रासायनिक मूलद्रव्याची संकल्पना काटेकोरपणे सुस्पष्ट होण्यास बराच काळ जावा लागलाच. साहजिकच, नवीन मूलद्रव्यांच्या शोधांचे योग्य स्पष्टीकरण शास्त्रज्ञांमार्फत होऊ शकले नाही.

अँटनी लव्हासिए याचे विचार मात्र या दृष्टीने पुढचे पाऊल ठरले. साध्या पदार्थांबाबतच्या आपल्या कल्पना त्याने अगदी स्पष्टपणे व ठाम सांगितल्या. ज्या पदार्थाचे शास्त्रज्ञांना कोणत्याही प्रकारे विघटन करणे शक्य नाही असे पदार्थ म्हणजेच मूलद्रव्ये होत! या साऱ्या साध्यासुध्या पदार्थांचे त्याने ४ गटात वर्गीकरणही केले. ते गट असे :

पहिल्या गटात ऑक्सिजन, नायट्रोजन, हायड्रोजन, तसेच प्रकाश व "थर्मोजेन" (ही अर्थात त्याची चूक होती) यांचा समावेश होता. हीच काय ती खरी मूलद्रव्ये असेच लव्हासिएने मानले.

दुसऱ्या गटात त्याने गंधक, फॉस्फरस, कोळसा (कार्बन), म्यूरिॲटिक आम्लाचा मूलक (पूढे क्लोरीन म्हटला गेलेला), हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लाचा मूलक (फ्ल्युओरिन) आणि बोरिक आम्लाचा मूलक (बोरॉन) यांचा अंतर्भाव केला. लव्हासिएच्या मतानुसार हे सारे अधात्विक असे साधे पदार्थ असून ते ऑक्सिडन पावणारे व आम्ले तयार करू शकणारे असे असतात.

तिसऱ्या गटात साध्या पण धातुरूप अशा पुढील पदार्थांचा समावेश होता – अँटिमनी, रूपे, आर्सेनिक, बिस्मथ, कोबाल्ट, तांबे, कथील, लोह, मँगॅनीज, पारा, मॉलिब्डेनम, निकेल, सोने, प्लॅटिनम, शिसे, टंगस्टन आणि जस्त. या पदार्थांचेसुद्धा ऑक्सिडन करता येतेच आणि ते आम्लेही तयार करतात.

शेवटचा चवथा गट क्षारधर्मी संयुगे तयार करणाऱ्या पदार्थांचा

("मृत्तिकां"चा) होता. त्यांचे एकंदर स्वरूप खूपच जटिल रचनेचे आहे अशी सर्वसाधारण धारणा होती. चुनखडी (कॅल्शियम ऑक्साइड), ॲल्युमिना (ॲल्युमिनम ऑक्साइड), बरायटा (बेरिअम ऑक्साइड), मॅग्नेशिया (मॅग्नेशिअम ऑक्साइड) आणि सिलिका (सिलिकॉन ऑक्साइड) ह्या त्या मृत्तिका होत. हे पदार्थ अज्ञात मूलद्रव्यांची ऑक्साइडे आहेत असे मत १७८९ च्या आसपास प्रचलित होते खरे पण तो समज अंदाजी स्वरूपाचाच होता. हे वर्गीकरण मोठेच संदिग्ध व गोंधळात भर टाकणारे असले तरी मूलद्रव्यांच्या स्वरूपाचा सखोल अभ्यास होण्यास उपकारकच ठरले.

मात्र, लव्हासिएला, "मूलद्रव्य" आणि "साधा पदार्थ" यात काही मूलभूत फरक आहे हे सांगताच आले नाही. पुढे १९ व्या शतकात अणु-रेणु सिद्धांत विकसित झाल्यावर आणि मेंदेलेयेव यांच्या कार्यानंतरच हा फरक सुस्पष्टरित्या सांगणे शक्य झाले.

मूलद्रव्यांच्या शोधांमागे विशिष्ट क्रम होता का?

खरे तर प्रत्येक मूलद्रव्याच्या शोधाचा इतिहास जाणून घेतल्यानंतरच म्हणजे पुस्तकाच्या अखेरीसच हा प्रश्न विचारणे उचीत ठरेल. साऱ्या विवेच-नास वस्तुस्थितीचा आधार तर हवाच हवा आणि तसा तो आम्ही जरूर देणार आहोत. तूर्त तरी या प्रश्नाचे "विहंगावलोक" स्वरूपात सर्वसाधारण चित्र रेखाटणार आहोत.

या पुस्तकाच्या पृष्ठ क्र. ३०६ वर मूलद्रव्यांच्या शोधांचा कालानुक्रम दिलेला आहे. त्यापैकी कोणत्या मूलद्रव्याचा शोध सर्वप्रथम लागला? दहा मूलद्रव्यांबाबत अशी परिस्थिती आहे की त्यांच्या शोधांची नेमकी तारीख देण्याऐवजी फक्त "प्राचीन काळापासून ज्ञात" एवढाच उल्लेख केला आहे. तशी "प्राचीन काळ" ही कल्पना मुळातच अतिशय संदिग्ध स्वरूपाची आहे. त्यावरून एवढाच बोध होतो की सांप्रतच्या काळाआधी कित्येक वर्षे ती माहीत झालेली आहेत. रसायनशास्त्रापासून अगदी भिन्न अशा पुराणवस्तु-शास्त्राचे अभ्यासकच, एखाद्या मूलद्रव्याचा मानवाने सर्वप्रथम उपयोग केव्हा केला याबाबत थोडीफार विश्वसनीय माहिती देऊ शकतील. (त्याकाळी "मूलद्रव्य" या नावाखाली त्यांची ओळख असणेही शक्य नव्हते). पुरातन काळापासून माहीत असलेली मूलद्रव्ये म्हणजे लोह, कोळसा ऊर्फ कार्बन,

सोने, रूपे, पारा, कथील, तांबे, शिसे आणि गंधक ही होत. रसायनशास्त्राचे अगदी जुजबी ज्ञान असणारी व्यक्तीही अगदी सहज सांगेल की या सर्व मूलद्रव्यांचे अगदी वरवरचे गुणधर्मसुद्धा एकमेकांपासून भिन्न आहेत. तर मग संशोधन-यादीत या मूलद्रव्याना प्रथम स्थान कसे काय मिळाले? कदाचित असे तर नसेल ना की ती सारी पृथ्वीवर मुबलकपणे आहेत, म्हणून? (पुस्तकाच्या अगदी शेवटच्या पानांवर जे कोष्टक छापले आहे त्यातील विपुलतादर्शक आकडयांवर जरा नजर टाका).

विपुल प्रमाणात आढळणाऱ्या पहिल्या दहा मूलद्रव्यांमध्ये फक्त लोह व कार्बनचाच क्रमांक लागतो. गंधक हे मूलद्रव्य बऱ्यापैकी मुबलक स्वरूपात आढळते. पण इतर सर्व मूलद्रव्ये वास्तविक दुर्मिळच म्हटली पाहिजेत. विपुल प्रमाणात आढळणाऱ्या मूलद्रव्यांमध्ये पहिले तीन क्रमांक ऑक्सिजन, सिलिकॉन आणि ॲल्युमिनियम यांचेच लागतात. अगदी १८ व्या शतकाच्या अखेरीपर्यंत मानवास माहीत नव्हते की जो ऑक्सिजन श्वासावाटे आत घेतला जातो ते एक मूलद्रव्यच आहे! सिलिकॉन हे पृथ्वीचा प्रमुख घटक असूनही त्याचा शोध लागण्यास मात्र १९ वे शतक उजाडावे लागले! तीच गोष्ट ॲल्युमिनिअमची. मात्र मातीच्या (ॲल्युमिनाच्या) स्वरूपात असणाऱ्या ॲल्युमिनिअमचा वापर मानव युगानुयुगे करत आला आहे.

यावरून असेच नाही का निष्पन्न होत की विपुलता व शोधाची तारीख याचा तसूमात्रही संबंध नाही? "जेवढे प्रमाण विपुल तेवढा त्या मूलद्रव्याचा शोध आधीचा" हे विधान चुकीचेच नव्हे काय? तर मग अनादी काळापासून ही मूलद्रव्ये माहीत असण्याचे कारण तरी काय असावे?

गुणधर्मांमधल्या फरकांव्यतिरिक्त या मूलद्रव्यांमध्ये कोणतेतरी साधर्म्य नक्कीच असले पाहिजे. याबाबत वस्तुस्थिती अशी आढळते की यातील पुष्कळशी मूलद्रव्ये केवळ संयुगाच्या स्वरूपातच निसर्गात आढळत नसून "साधे पदार्थ" म्हणूनही ती या ना त्या ठिकाणी दृष्टोत्पत्तीस येतात. उदाहरणार्थ, सोन्याच्या लगडी सापडल्याचे आजही आपण ऐकतोच. त्यासाठी कोणत्यातरी रासायनिक अभिक्रियेची आवश्यकता आहे असे मुळीच नाही. फक्त त्यांचा शोध घेणे किंवा योगायोगाने त्या सापडणे एवढीच काय ती जरूरी असते. रूपे व गंधकही पृथ्वीवर "जसेच्या तसे" (मुक्त स्थितीत किंवा असंयोगित स्वरूपात) आढळते. (पण प्रामुख्याने ही मूलद्रव्ये बहुधा कोणत्या तरी खनिज-घटकांच्या स्वरूपातच असतात). तांबे व पारा मुक्त

स्थितीत आढळतात खरी पण नेहमीच मात्र मुळीच नव्हे. उघडच आहे की अशा मुक्त आढळामुळे हीच मूलद्रव्ये मानवाच्या सर्वप्रथम नजरेस पडणार व पडलीही. या सर्व मूलद्रव्यांमध्ये कार्बनचे स्थान खरोखरीच असाधारण दिसते. दृष्टोत्पत्तीस आलेले हेच पहिले मूलद्रव्य असावे. अगदी पहिल्या शेकोटीतील राखेच्या स्वरूपात किंवा रानावनात वीज पडून जळलेल्या झाडांच्या स्वरूपात ते आढळले असणार. लोहाने तर मानवी इतिहासातील एका संपूर्ण युगास आपले नाव बहाल केले आहे. आपल्या पूर्वजांनी मुक्त स्थितीत आढळलेल्या लोहाचाच सर्वप्रथम वापर केलेला असणार यात मुळीसुद्धा शंका नाही आणि ते उल्कापाषाणांद्वारेच मिळालेले असणार. त्यानंतरच प्राचीन धातुशास्त्रज्ञ लोह-खनिजांपासून विगलनमार्गे लोह तयार करण्यास शिकले. कथील व शिसे मात्र त्या त्या खनिजांपासूनच तयार केली गेली. संयुगांपासून या धातूंचे निष्कर्षण करणे (आधुनिक रासायनिक भाषेत त्यास "क्षपण-क्रिया" असे म्हटले जाते) हे काम सोपे असून त्यावेळी रासायनिक क्रिया-अभिक्रियांचे ज्ञान नसूनही ते सहजपणे करू शकले.

पृथ्वीच्या निरनिराळ्या भागात या ना त्या मूलद्रव्याचा वापर वेगवेगळ्या कालखंडात होऊ लागला. म्हणूनच मूलद्रव्याचा सर्वप्रथम उपयोग केल्याच्या उल्लेखावरून त्याच्या शोधाची बरीचशी अचूक तारीख सांगणे शक्य आहे. येथे "शोध" ही संज्ञा फारच जुजबी आहे. माणसाच्या ज्ञान-कक्षा विस्तारल्यावर या शब्दास जो अर्थ मिळाला त्याच्याशी तर मुळीसुद्धा साम्य उरलेले नाही.

मूलद्रव्यांच्या शोधांची सुरुवात केवळ १८ व्या शतकाच्या उत्तरार्धातच झाली. त्यापूर्वीच्या हजार वर्षात फक्त आर्सेनिक अँटिमनी, बिस्मथ, फॉस्फरस आणि जस्त या पाच मूलद्रव्यांचाच काय तो शोध लागला. त्यावेळी किमयागार मात्र परिसाचा शोध घेण्यात दंग होते आणि केवळ योगायोगानेच त्यांचा शोध लागला. या मूलद्रव्यांचे वैशिष्टयपूर्ण गुणधर्मच त्यांच्या शोधास कारणीभूत ठरले. याचे ठळक उदाहरण म्हणजे फॉस्फरसचे अंधारात होणारे प्रदीपन किंवा अर्सेनिक संयुगांचे काही वैचित्र्यपूर्ण गुणधर्म.

नवनवीन रासायनिक मूलद्रव्यांचा शोध हा निव्वळ योगायोगाचा अथवा सुदैवाचा भाग पुढे राहिला नाही. त्यास दोन प्रमुख घटना जबाबदार ठरल्या. पहिली घटना म्हणजे रसायनशास्त्र स्वयंभू ठरू लागले, त्यातील प्रायोगिक पद्धती समाधानकारक ठरत गेल्या आणि निरनिराळ्या मूलद्रव्यांचा अंतर्भाव

असलेली खनिजे व त्यातील घटकद्रव्ये निश्चित करण्याची कला शास्त्रज्ञांनी आत्मसात केली. दुसरी महत्त्वाची घटना म्हणजे रासायनिक मूलद्रव्याच्या संकल्पनेबाबत बहुतेक सर्व शास्त्रज्ञांचे बरेचसे एकमत झाले. रसायनशास्त्राच्या विकासातील सूक्ष्म निरिक्षणाचा तो काळ होता आणि याच काळात निसर्गात सापडणाऱ्या बहुतेक सर्व मूलद्रव्यांचा शोध लागला हे या संदर्भात ध्यानात घेण्याजोगे आहे.

हायड्रोजन व वातावरणाचे प्रमुख घटक असलेल्या ऑक्सिजन व नायट्रोजन यांच्या शोधाची कथा तर फारच मनोरंजक आहे. या वायूंच्या शोधास वायवीय (हवेसंबंधी) रसायनशस्त्राचा विकास कारणीभूत ठरला. त्या काळी वायूंचा अभ्यास ही केवळ भौतिकशास्त्रज्ञांची मक्तेदारी होती. एखादा नवा वायु शोधणारा संशोधक असेच समजे की तो एक नवा प्रकार (मूलद्रव्य) नसून केवळ हवेचाच एक प्रकार आहे. हे प्रकार म्हणजे वस्तुतः वेगवेगळी व नवी मूलद्रव्ये आहेत ही वस्तुस्थिती पुढे यथावकाश आली. याकरता, जुने सैद्धांतिक विचार व फ्लॉजिस्टॉन विचारप्रणाली यांना अव्हेरणे फार जरूरीचे होते. या सिद्धांतांचा विचार आपण नंतर करूच. एक खरे की नायट्रोजन, ऑक्सिजन व हायड्रोजन यांच्या शोधांमुळे रसायनशास्त्रातील महत्त्वाच्या मुद्यांच्या विकासास, तसेच त्यातील सैद्धांतिक बैठकीस भक्कम आधार मिळण्यास आणि प्रायोगिक कृतींच्या विकासास मोठाच हातभार लागला.

भू-कवचाच्या वजनाचा निम्म्यापेक्षाही अधिक भाग व्यापणाऱ्या आणि सर्वात विपुल मूलद्रव्य असणाऱ्या ऑक्सिजनचा शोध एवढ्या उशिरा का लागला याचे आश्चर्य म्हणूनच वाटत नाही. ऑक्सिजन हा एक "नवीन" व "साधा" पदार्थ आहे असे प्रस्थापित होण्यासाठी रसायनशास्त्र भक्कम आधारावर उभे असण्याची फार आवश्यकता होती व त्यासाठी संशोधनाच्या पुरेशा व अद्ययावत पद्धतींचीही जरूरी होती.

वेळोवेळी सुधारणा केलेल्या विश्लेषणात्मक पद्धती म्हणजे रासायनिक मूलद्रव्यांच्या शोधाची गुरूकिल्लीच ठरते. तथापि, आवर्ती कोष्टकातील सर्वच जागा भरून काढण्याइतपत रासायनिक विश्लेषणाचे तंत्र परिपूर्ण नव्हते. सर्वच नवीन मूलद्रव्यांचा शोध परीक्षानळीत लागला असे नसून काही मूलद्रव्यांनी (विशेषतः दुर्मिळ मूलद्रव्यांनी) आपले अस्तित्व अन्य मार्गांनी सिद्ध केलेच.

खनिजे व खडक यासह पृथ्वीचे कवच तयार होण्यास कित्येक कोटी वर्षे

लागली. या क्रियांतून निसर्गाचा लहरीपणा तर पदोपदी जाणवतो. किंवा, असेही म्हणता येईल की त्यामध्येच भू-रसायनशास्त्राच्या नियमांचे प्रतिबिंबही पहावयास मिळते. काही मूलद्रव्ये कमनशिबीच म्हटली पाहिजेत. प्रमुख घटक ठरण्याएवढे किंवा जाणवण्याइतपत तरी त्यांचे प्रमाण असणारी खनिजे ती तयारच करू शकली नाहीत, इतर मूलद्रव्यांच्या खनिजांमध्ये केवळ भेसळीच्या स्वरूपातच ती आली म्हणूनच पृथ्वीच्या कवचात ती दूरपर्यंत किंवा सर्वत्र पसरली. यामुळेच दर एककातील त्यांचे प्रमाण "अत्यल्प' ठरले. खास त्यांचीच अशी खनिजे सापडणेही मग दुर्लभ झाले. त्यांना "अंशमात्र मूलद्रव्ये" हे नाव मिळाले. म्हणूनच जेव्हा अशी अंशमात्र खनिजे कर्मधर्मसंयोगाने जर कुणाच्या नजरेस आलीच तर रासायनिक विश्लेषणाची ती ताबडतोब लक्ष्य ठरतात यात नवल ते कोणते? पुढे आपणास पहावयास मिळेलच की अर्जिरोडाइट या अशाच एका दुर्लभ खनिजापासूनच जर्मेनिअम हे मूलद्रव्य वेगळे करण्यात आले.

इतर अंशमात्र मूलद्रव्यांचा इतिहास खूपच वेगळा आढळतो. सिशिअम, रूबिडिअम, इंडिअम, थॅलिअम, आणि गॅलिअम या मूलद्रव्यांची उदाहरणे म्हणजे रसायनशास्त्राची मदत न घेताच ओळखलेल्या किंवा निर्धारित केलेल्या नव्या रासायनिक मूलद्रव्यांची मोठी उल्लेखनीय उदाहरणे म्हटली पाहिजेत. आपण कोण याची ओळख त्यांनी स्वतःहून आपल्या विशिष्ट "ओळखपत्रा"द्वारे करून दिली. हे ओळखपत्र म्हणजे त्या त्या मूलद्रव्याचा विशिष्ट वर्णपट. वर्णपटीय विश्लेषण या नव्या पद्धतीमुळे त्यांचे शोध लागले. ज्वालकाच्या ज्योतीमध्ये एखाद्या पदार्थाचा कण धरला व त्यापासून मिळणारा प्रकाश चिती ऊर्फ प्रिझममधून आरपार जाऊ दिला तर वक्रीभूत प्रकाशात अनेकरंगी व विविध रचना असणाऱ्या रेषा दिसतात. आधीच माहीत झालेल्या मूलद्रव्यांच्या वर्णपटांचा अभ्यास केल्यावर शास्त्रज्ञांनी असा निष्कर्ष काढला की प्रत्येक मूलद्रव्याचे खास त्याचेच असे वर्णपटीय चित्र असते. या आगळया वैशिष्ट्यामुळेच वर्णपटीय विश्लेषण हे फारच प्रभावी आणि मोठे उपयुक्त साधन ठरले. एखाद्या संयुगाच्या वर्णपटात जर नवीन रेषा आढळली तर त्या संयुगात नवीन मूलद्रव्य आहे असे समजणे तर्कशुद्धच ठरेल. अगदी याच पद्धतीने सिशिअम, रूबिडिअम, इंडिअम व थॅलिअम या मूलद्रव्यांचा शोध लागला. परंतु अशा मार्गे लागला जाणारा शोध जाहीर करणे हे एक धाडसाचेच काम ठरे. कारण त्याक्षणी तरी अशा नव्या मूल-

आहे (प्रकरण २ रे). या दोन प्रकरणात शोध ही संज्ञा योग्य प्रकारे लागू पडत नाही. "रासायनिक मूलद्रव्या"ची संकल्पना अधिक स्पष्ट झाल्या-वरच या संज्ञेस सध्या अभिप्रेत असणारा अर्थ प्राप्त झाला. फ्लॉजिस्टीन सिद्धांताचे खंडन, वायवीय रसायनशास्त्राचा विकास, ऑक्सिजन, नायट्रोजन व हायड्रोजन या वायूंचा शोध आणि त्यांच्या स्वरूपाचे प्राथमिक ज्ञान झाल्याने तसे होण्यास सोपे गेले.

पुष्कळशी मूलद्रव्ये १८ व्या शतकाच्या उत्तरार्धात व १९ व्या शतका-च्या पूर्वार्धात रासायनिक विश्लेषणमार्गे शोधली गेली (प्रकरण ४ थे). काही अल्कधर्मी धातूंचा व अल्कधर्मी मृद्धातूंचा शोध लागण्यास विद्युत-रासायनिक पद्धतीचाही हातभार लागला आहेच (प्रकरण ५ वे). मागील शतकाच्या पाचव्या दशकानंतर वर्णपटीय पद्धतीचा विकास झाला व तिच्या आधारे कितीतरी नवी मूलद्रव्ये उजेडात आणली गेली (प्रकरण ६ वे).

मृद्‌वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्ये (रेअर अर्थ्‌स), अक्रियाशील वायु आणि आवर्ती कोष्टकाच्या आधारे भाकीत केली गेलेली मूलद्रव्ये यांचे शोध विशेष लक्षात घेण्याजोगे आहेत. ही मूलद्रव्ये जरी रासायनिक विश्लेषण आणि वर्णपटीय पद्धतींनी शोधण्यात आली असली तरी त्यांच्या शोधांचा इतिहास अनेक बाबतीत वैयक्तिक स्वरूपाचाच ठरतो, त्यामुळेच त्यांचे वर्णन स्वतंत्र-रित्या वेगवेगळ्या प्रकरणात केलेले आढळेल (प्रकरण ७, ८ व ९). पृथ्वीवर अगदी शेवटी शोधली गेलेल्या व स्थायी स्वरूपाच्या हाफिनअम आणि ऱ्हेनिअम या दोन मूलद्रव्यांचा इतिहास काही कमी महत्त्वाचा नाही (प्रकरण १० वे). या पुस्तकाचा पहिला भाग किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या इतिहासाने संपतो (प्रकरण ११ वे). त्यायोगे वाचकांची किरणोत्सारी दुनियेशी, तसेच न्यूक्लीय अभिक्रियेतून तयार झालेल्या अस्थायी मूलद्रव्यांशी आणि समस्थानिकांशी ओळख होते.

पुस्तकाच्या दुसऱ्या भागातील दोन प्रकरणे (प्रकरण १२ वे व १३ वे) संश्लेषित मूलद्रव्यांसाठी राखून ठेवलेली आहेत. १२ व्या प्रकरणात आवर्ती कोष्टकाच्या जुन्याच चौकटीतील म्हणजे हायड्रोजन ते युरेनिअम यामधल्या काही नवीन मूलद्रव्यांच्या (टेक्नेशिअम, प्रोमेथिअम, ॲस्टाटाइन आणि फ्रान्सिअम) संश्लेषण-कार्याशी वाचकांचा परिचय होईल. १३ व्या प्रकरणात युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचा व न्यूक्लीय संश्लेषणाच्या भवितव्याचा विचार केला आहे.

पुस्तकाच्या शेवटी मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील सांख्यिकी माहिती देण्यात आली आहे, तसेच "रासायनिक मूलद्रव्याचा शोध" या संकल्पनेचा पुन्हा विचार केला आहे. मूलद्रव्यांचे फसवे शोधही बरेच लागले व या फसव्या शोधांबाबतही मोठी मनोरंजक माहिती तेथेच आढळेल. (फसव्या शोधांचा ऊहापोह व्ही. पी. मेल्‌निकोव यांनी हाताळला आहे).

भाग पहिला

निसर्गातील मूलद्रव्यांचा शोध

सध्या माहीत असलेली पुष्कळशी मूलद्रव्ये निसर्गातच (म्हणजे निरनिराळया धातुकात, खनिजात आणि पृथ्वीच्या वातावरणात) सापडली आहेत. आज असे खात्रीपूर्वक म्हणता येते की निसर्गातील स्थिर अथवा निसर्गतःच किरणोत्सारी अशी कोणतीच मूलद्रव्ये आता शोधायची राहिलेली नाहीत. त्यांना "विश्लेषण पद्धतींनी शोधलेली मूलद्रव्ये" असे म्हणता येईल. या मूलद्रव्यांचे अस्तित्व मानवानिरपेक्ष असून मानवी ज्ञान व संशोधन-पद्धती यावर अवलंबून नाही. सूर्यमालेच्या अगदी प्राथमिक उत्क्रांतीकालात, पृथ्वीचा ग्रह म्हणून जेव्हा उदय झाला, अगदी त्या काळापासूनच ती अस्तित्वात आली.

या मूलद्रव्याचा मानवास शोध कसा लागला हाच या पुस्तकाचा विषय आहे.

निसर्गातील सुमारे ९० टक्के मूलद्रव्ये स्थायी स्वरूपाची आहेत, म्हणजेच ती किरणोत्सारी नाहीत. हायड्रोजनपासून बिस्मथपर्यंत १ ते ८३ क्रमांकाच्या जागा त्यांनी आवर्ती कोष्टकात पटकाविल्या आहेत. त्यामध्ये फक्त दोनच जागा रिकाम्या आहेत – Z = ४३ (टेक्नेशिअम) आणि Z = ६१ (प्रोमेथिअम). अणुकेंद्रकाच्या विक्षिप्त गुणधर्मामुळे या मूलद्रव्यांचे सर्व समस्थानिक किरणोत्सारी असून त्यांचा आयुष्यकाल एकंदरीत फारच अल्पसा ठरला आहे. म्हणून टेक्नेशिअम व प्रोमेथिअम निसर्गात टिकविले गेले नाहीत, उलट ऱ्हास पावून ते नजिकच्या स्थायी मूलद्रव्यात रूपांतरीत झाले.

निसर्गतःच किरणोत्सारी असणाऱ्या मूलद्रव्यांची संख्या स्थायी मूलद्रव्यांच्या मानाने फारच कमी भरते. आवर्ती कोष्टकातील पोलोनिअम (Z = ८४) ते युरेनिअम (Z = ९२) ही अशा प्रकारची मूलद्रव्ये होत.

यापैकी फक्त थोरिअम आणि युरेनिअम यांचा आयुष्यकाल तुलनात्मकदृष्टया अगदी दीर्घ स्वरूपाचा आहे. याच कारणामुळे ही मूलद्रव्ये पृथ्वीच्या सुरुवातीच्या कालापासून आजतागायत तग धरून राहिली आहेत. त्यांचे अस्तित्वही जाणविण्याइतपत नक्कीच आहे. म्हणूनच किरणोत्साराचा गुणधर्म ध्यानात यावयाच्या आधीच हे दोन पदार्थ रासायनिक मूलद्रव्ये म्हणून उजेडात आणणे शक्य झाले. इतर नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचे (पोलोनिअम, रेडिअम, रेडॉन, ॲक्टिनिअम आणि प्रोटॅक्टिनिअम) प्रमाण फारच कमी भरते.

प्रकरण १ ले

पुरातन काळापासून ज्ञात असलेली मूलद्रव्ये

खरे पाहता, पुरातन काळ ही संज्ञा मूलतःच अतिशय ढोबळ व संदिग्ध स्वरूपाची आहे. तरी पण इतिहासात ती अगदी विस्तृत प्रमाणात वापरलेली आढळते. म्हणूनच शीर्षक म्हणून जरी तिचा वापर योग्य नसला तरीही त्याच शीर्षकाखाली आपण अनेक रासायनिक मूलद्रव्यांचा विचार करणार आहोत. ज्या मूलद्रव्यांचा (धातूंचा) उल्लेख प्राचीन वाङ्मयात आलेला आहे अथवा पुराणवस्तुशास्त्राच्या आधारे ज्यांचे अस्तित्व पक्के करता येते अशा मूलद्रव्यांचा अंतर्भाव या प्रकरणात केलेला आढळेल.

या ठिकाणी "शोध" शब्दाचा उल्लेखसुद्धा स्वच्छंदी ठरतो. कथानकातील नायकांना, रासायनिक मूलद्रव्य म्हणून जी मान्यता मिळाली ती अगदी अलिकडच्या काळातच. या मूलद्रव्यांचा पुरातन काळातील इतिहास वगळता, त्यांच्या शोधाची तारीख, स्थान आणि शोधकाचे नाव यांचा उल्लेख कुठेही सापडत नाही. म्हणूनच त्याकडे तटस्थ वृत्तीने दुर्लक्षच करणे भाग आहे. हे प्रकरण लिहिण्याची पद्धत काहीशी वैचित्र्यपूर्ण वाटेल ती याच कारणामुळे. त्यामध्ये मूलद्रव्याबाबतचा संक्षिप्त गोषवारा आणि भूतकाळातील त्यांचे उपयोग एवढाच वृत्तांत येणे क्रमप्राप्त ठरते.

येथे सात पुरातन धातूंचा विचार केलेला आहे. सोने, रूपे, तांबे, कथील, लोह, शिसे व पारा हे ते सात धातु होत. महान कर्तृत्वशाली अशा या सप्त धातूंनी मानवी संस्कृतीच्या विकासास जो प्रचंड हातभार लावला आणि विविध नैसर्गिक तत्त्वज्ञानांच्या प्रसारामध्ये जी महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावली ती केवळ अजोड आहे! बऱ्याच कालावधीपासून माहीत असणाऱ्या गंधक व कार्बन या मूलद्रव्यांचीही माहिती याच प्रकरणात सापडेल. मानवास माहीत झालेले अगदी पहिले व सर्वात जुने मूलद्रव्य म्हणजे कार्बन हेच होय. म्हणूनच रासायनिक मूलद्रव्यांच्या इतिहासाची सुरुवात कार्बनपासून करणे सर्वार्थाने उचित ठरते.

जस्त, अँटिमनी व बिस्मथ ही मूलद्रव्ये तशी पुरातन काळापासून माहीत असल्याचे मानले जाते यात शंका नाही, तथापि त्याबाबतचा भक्कम पुरावा सापडलेला नाही.

कार्बन

कार्बनच्या शोधाची निश्चित तारीख सांगणे अशक्यच. तरीपण, एक "साधा पदार्थ" म्हणून कार्बनची ओळख कधी झाली ते सांगता येईल. १७८९ मध्ये ए. लव्हॉसिए याने संकलित केलेले "साध्या पदार्थांचे कोष्टक" नजरेसमोर आणू या. त्यामध्ये कार्बनचा समावेश केला आहे. परंतु या कोष्टकात स्थान मिळविण्यासाठी कार्बनला काही शतकेच नव्हे तर कित्येक हजार वर्षे लागली. अग्नीच्या शोधापूर्वी, नैसर्गिक विजेमुळे जळून खाक झालेल्या वृक्षांच्या रूपाने कार्बन खचितच मानवाच्या दृष्टीस पडलेला असणार पुढे अग्नी पेटविण्याची कला त्याने हस्तगत केली आणि तेव्हापासून मानवाचे कार्बनशी जडलेले मैत्रीचे नाते अगदी अतूट ठरले.

फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताच्या विकासात कार्बनचा मोठाच वाटा आहे. या सिद्धांतानुसार, कार्बन हा एक साधा पदार्थ नसून केवळ शुद्ध फ्लॉजिस्टॉनच आहे. कोळसा आणि इतर संयुगांच्या ज्वलनाचा अभ्यास करून सर्वप्रथम लव्हॉसिए याने कार्बन हा खरोखरीच एक साधाच पदार्थ असल्याचे सिद्ध केले. या ठिकाणी, कार्बनची ओळख कशी पटली या हकिकतीपासून थोडे विषयांतर करू या.

निसर्गात हिरा व ग्राफाईट या दोन अपरूपांच्या स्वरूपात कार्बन आढळतो व ही दोन्ही अपरूपे बऱ्यास काळापासून माहीत आहेत. तसेच उच्च तपमानात, कोणताही अवशेष मागे न ठेवता हिरा जळतो याचीही जाणीव फार पूर्वीपासूनच होती. तरीसुद्धा, हिरा व ग्राफाईट या दोन वस्तु वेगवेगळ्या आहेत असेच मानले जाई. कार्बन डायॉक्साइडच्या शोधामुळे मात्र, एकाच पदार्थाची ती दोन रूपे आहेत हे सिद्ध करता आले. हिरा व ग्राफाईट यांच्या ज्वलनाच्या अभ्यासावरून लव्हॉसिएने सिद्ध केले की या दोहोंच्याही ज्वलनातून कार्बन डायॉक्साइड निर्माण होतो. त्यामुळे हिरा व ग्राफाईट यांचे मूळ एकच असणार या विचारास बळकटी येत गेली.

"कार्बोनिअम" (कार्बन) हे नाव सर्वप्रथम "रासायनिक नामपद्धती"

(ए. लव्हॉसिए, एल्. गायटन द मॉरव्ह्यू, सी. बर्थोलेट आणि ए. फोरक्रॉय) या पुस्तकात १७८९ मध्ये झळकले.

प्राचीन काळापासून सुपरिचित असणाऱ्या या मूलद्रव्यात आणि ज्या लॅटिन शब्दाचे मूळ प्राचीन अशा संस्कृत भाषेत आहे, त्यामध्ये आपणास काही साधर्म्य दाखविता येईल. संस्कृत भाषेत "क्रा" या शब्दाचा अर्थ 'उकळणे" असा होतो. १८२४ साली "कार्बन" हे नाव सुचविण्यात आले.

१७९७ मध्ये एस्. टेनंटने असे सिद्ध केले की समान वजनाच्या हिऱ्याचे व ग्राफाईटचे ज्वलन केले असता मिळणाऱ्या कार्बन डायॉक्साइडचे वजन दोन्ही बाबतीत समानच असते. १७९९ मध्ये एल्. गायटन द मॉर्व्ह्यू याने निश्चितपणे दाखवून दिले की निव्वळ कार्बन हाच हिरा, ग्राफाईट व कोळसा यांचा मूलभूत व एकुलता एक घटक आहे. पुढे वीस वर्षांनी काळजीपूर्वक उष्णता देऊन त्याने हिऱ्याचे प्रथम ग्राफाईटमध्ये व नंतर कार्बन डायॉक्साइडमध्ये रूपांतर करून दाखविले. तथापि, याउलट म्हणजे ग्राफाईटचे हिऱ्यात रूपांतर करणे हे काम १८ व्या व १९ व्या शतकातील विज्ञानाच्या आवाक्याबाहेरचे होते. काही ब्रिटिश शास्त्रज्ञांनी पुढे कृत्रिम हिरे तयार केले खरे पण त्यास १९५५ साल उजाडावे लागले. जगाच्या इतिहासातील हे सर्वप्रथम उदाहरण होय. त्यासाठी ३००० अंश से. तपमान आणि $१०^{९}$ वातावरणीय दाब वापरला गेला.

त्यापाठोपाठ सोविएत शास्त्रज्ञांनी कार्बिन नामक पदार्थ तयार केला. हा पदार्थ, सिद्ध झाल्याप्रमाणे कार्बनचे तिसरे अपरूप मानले जाते. त्यातील कार्बनचे अणु, लांबलचक साखळयांमध्ये गुंफलेले असतात व दिसण्यात तो काजळीप्रमाणे असतो.

कार्बन व त्याच्या संयुगांच्या अभ्यासातूनच, "कार्बनी रसायनशास्त्र" या अतिविस्तृत शाखेचा पाया घातला गेला.

गंधक

फार प्राचीन काळापासून गंधक मानवाला परिचित आहे. होमरच्या काळात ग्रीक लोक गंधकाच्या धुराने (सल्फर डायॉक्साइडने) घरे जंतू-विरहित करत. गंधकाचे स्थानिक साठे प्राचीन काळापासून उपलब्ध झाले

आहेत. थोरल्या प्लिनीने इटली व सिसिली येथील गंधकाच्या साठ्यांचा उल्लेख केलेला आहे. त्या काळी रंगद्रव्ये तयार करण्यासाठी आणि सुतावर प्रक्रिया करण्यासाठी गंधक वापरले जाई. शोभेच्या दारूकामातही कार्बनप्रमाणेच गंधकही वापरले जाई. "ग्रीक फायर" नामक दारूकामाचा एक प्रकार ५ व्या शतकात बिझँटिअममध्ये शोधला गेला होता, त्यामध्ये १ भाग गंधक, दोन भाग कोळसा आणि ६ भाग सॉल्ट पीटर ऊर्फ सोरा असे मिश्रण होते. विशेष म्हणजे बंदुकीच्या काळ्या दारूतही हेच घटक आढळावेत हे जाणून मौज वाटेल.

एक उत्तम ज्वलनशील पदार्थ आणि अनेक धातूंशी त्वरित संयोग पावण्याची क्षमता या दोन गुणांमुळे मध्ययुगीन काळात गंधकास मोठे "मानाचे स्थान" मिळाले. किमयागारांनी तर गंधकास ज्वलनशीलतेचेच मूलद्रव्य मानले आणि सर्व धातूंचा त्यास घटक समजले. कोणत्याही वैशिष्ट्यपूर्ण गुणधर्माचा संबंध गंधकाशी जोडला जाई. काही किमयागारांनी मात्र गंधकाचे खरे गुणधर्म बऱ्याचशा अचूकपणे जाणले होते.

गंधकाचे मूलद्रव्यात्मक स्वरूप सर्वप्रथम ए. लव्हॉसिए याने दाखवून दिले. १९ व्या शतकाच्या सुरुवातीस एक स्वतंत्र मूलद्रव्य म्हणून जरी ते ओळखले जाऊ लागले तरीसुद्धा स्थानिक गंधकाचे गुणधर्म शाबीत करण्यासाठी प्रायोगिक काम करावेच लागे. १८०८ मध्ये हंफ्री डेव्ही याने असे सिद्ध केले की नेहमी आढळणारा सर्वसाधारण गंधक निव्वळ गंधक नसून त्यात ऑक्सिजन व हायड्रोजनही मिसळलेले असतात. यामुळे त्याच्या मूलद्रव्यात्मक स्वरूपाची शंका वाटू लागली. पण या शंकेचे संपूर्ण निरसन गे ल्युसॅक याने १८०९ मध्ये केले. १८१० मध्ये डेव्हीने खुलासा केला की गंधकात ऑक्सिजनचा जो अंश आढळतो त्याचे कारण म्हणजे स्थानिक गंधकात येणारा कार्बन डायॉक्साइड. त्याचे प्रमाण अर्थातच स्थाननुरूप नमुन्यावर अवलंबून असते. आधुनिक रसायनशास्त्राच्या दृष्टिकोनातून असे म्हणता येईल की डेव्हीने उल्लेखिलेला ऑक्सिजन हा सल्फर डायॉक्साइडमधला नसून अनेक धातूंच्या ऑक्झिसल्फाइड संयुगांमुळे येतो व अशी संयुगे गंधकात नेहमीच आढळतात.

सल्फर या लॅटिन शब्दाचा उगम अजून स्पष्ट नाही.

सोने

कार्ल मार्क्सनी लिहिले आहे: "मानवाने शोध लावलेला सोने हा पहिला धातु होय."

हे अगदी खरे आहे. उत्खननामध्ये दगडी हत्यारांबरोबर सोन्याच्याही काही वस्तु आढळल्या. या वस्तु निओलिथिक युगातील असाव्यात. तथापि, त्या काळी केवळ योगायोगानेच सापडलेल्या वस्तु लोकांनी वापरल्या. पुढे समाजामध्ये विविध वर्ग निर्माण झाले आणि सोन्याच्या खनिकर्मास सुरुवात झाली. याचे कारण अगदी साधे आहे, चलन म्हणून सोने अधिक योग्य ठरले आणि कोणत्याही बदलाशिवाय टिकणारे, सहजगत्या तुकडे करता येणारे आणि उच्च किंमत या उपयुक्त गुणांची त्यासाठी मदतच झाली.

दागदागिन्यांसाठी होणारा सोन्याचा वापर तर अतिप्राचीन काळापासून चालत आलेला आहे. इजिप्तमध्ये वेगवेगळया कालखंडात बांधलेल्या पिरॅमिड वास्तूंची जेव्हा उत्खनने झाली तेव्हा पुराणवस्तुतज्ज्ञांना केवळ सोन्याचेच दागिने मिळाले असे नाही तर घरगुती उपयोगाचे सामानही हाती लागले.

सोन्याचा वापर फक्त इजिप्तमध्येच होत होता असे नाही तर इ. स. पूर्व १० व्या शतकात भारत, चीन व मेसोपोटामियातील राज्यातही तो प्रचलित होताच. ग्रीसमध्ये ख्रि. पू. (८ व्या ते ७ व्या शतकापासून सोन्याची नाणी चलनात आली. आर्मेनियात ख्रि. पू. १ ल्या शतकात असा वापर झाला. सोन्याच्या सर्वात जुन्या खाणी भारत आणि न्यूबियात (ईशान्य आफ्रिका) आढळतात त्यामागे वरील कारण असावे.

सोने शुद्धीकरणाच्या ज्या पद्धती पुरातनकाळी प्रचलित होत्या त्यापासून शुद्ध सोने मिळत नसे, परंतु चांदीयुक्त सोन्याचा मिश्रधातु मिळे व त्यास अॅझेम असे नाव मिळाले. सोने-रूपे यांचा नैसर्गिक मिश्रधातु ऊर्फ इलेक्ट्रम हा सुद्धा त्याकाळी माहीत होता.

मानवी इतिहासात सोन्याएवढी लज्जास्पद भूमिका दुसऱ्या कोणत्याच धातूने बजाविली नसेल. सोन्याच्या लालसेपायी युद्धे लढविली गेली, अनेक राज्यांचा व देशांचा पूर्णतया विध्वंस झाला व अनेक अघोरी गुन्हे केले गेले. एवढे होऊनसुद्धा सोन्याच्या प्राप्तीमुळे मानवास शांती लाभली काय? मुळीच नाही. त्याऐवजी स्वतःजवळचे सोने हिरावले जाण्याची भीती व दुःख मात्र त्याच्या मनात सतत घर करून राहिले.

४ थ्या ते ६ व्या शतकातील काळ सोन्याच्या दृष्टीने एक अत्यंत निर्जीव व उदासीन काळ समजला जातो. त्याकाळात परिसाचा शोध घेण्याच्या कामी किमयागार वेड्यासारखे मग्न होते. हलक्या प्रतीच्या धातूस परिसाचा स्पर्श झाल्यास त्याचे सोन्यात रूपांतर होते या दृढ विश्वासाने ते झपाटले होते. किमयाशास्त्राचा उदय क्षुल्लक घटनांमधून झाला नसून त्यामागे महत्त्वाची कारणे वा घटना कारणीभूत आहेत. इजिप्शियन लोकांच्या अल्पावधीतील भरभराटीमागे कारण हेच समजले जाई की त्यांना सोने मिळविण्याचे गुपित ज्ञात झाले असले पाहिजे. त्यावेळी असेही ठाऊक होते की जर लोखंडी वस्तु तांब्याच्या खाणीत बऱ्याच काळ राहिल्या तर त्यावर तांब्याचा थर चढतो. लोखंडाचे तांब्यात रूपांतर होते असा विश्वास यामुळेच बळावला. तसे जर होत असेल तर मग इतर धातूंचे सोन्यातही रूपांतर का होऊ नये? स्थानिक लेड सल्फाइडमध्ये बहुधा नेहमीच भेसळीच्या रूपाने रूपे येते व ते काही वेळा वेगळे करणेही शक्य होते. तर मग शिशावरही रूप्याचा थर चढणे किंवा त्याचे रूप्यातच रूपांतर का शक्य होऊ नये? अशी पार्श्वभूमी तर किमयाशास्त्रास मिळालीच पण त्यापेक्षाही, पदार्थाच्या अद्वैत स्वरूपाच्या विकाराने म्हणजेच सर्व पदार्थात सारखेच घटक असून केवळ त्यांचे प्रमाण भिन्नभिन्न असते या विचाराने शास्त्राची चांगलीच प्रगती साधली.

"परीस" अथवा परिसाचा दगड मिळविण्याचे सारे प्रयत्न निष्फळ ठरले (तशीच अपेक्षा असणार). पण अनेक किमयागारांनी त्यासाठी आपले प्राणही खर्ची घातले. दुसऱ्या एखाद्या पदार्थापासून सोने तयार करण्याचे ज्ञान झाले अशा वार्ता म्हणजे लब्धप्रतिष्ठितांची निव्वळ ढोंगे होती.

युरोपमध्ये किमयाशास्त्राची घोडदौड चालू असतानाच स्पेनचे धाडसी योद्धे दक्षिण आणि मध्य अमेरिकेच्या लूटमारीसाठी बाहेर पडले. इन्का लोकांच्या भूमीतील मंदिरांमध्ये सोन्याचे प्रचंड साठे पाहून ते आश्चर्याने स्तंभितच झाले. सोने म्हणजे सूर्याचे प्रतीक अथवा पवित्र धातु अशीच इन्का लोकांची श्रद्धा होती. त्यांनी अटाहॉल्पा या इन्कांच्या प्रमुख नेत्यास पकडले व ५० घनमीटर सोने दिल्यास सुटका होईल असे बजाविले. पण फ़्रांसिस्को पिझारो या स्पॅनिश नेत्यास अटाहॉल्पाची कोणत्याही परिस्थितीत सुटका करणे धोक्याचे वाटले व त्याने खंडणीची वाट न पाहता या इन्का – प्रमुखाचा शिरच्छेद केला! आपल्या नेत्याच्या वधाची वार्ता इन्कांना समजली आणि त्याचवेळी खंडणीचे

सोने नेणारा १०० लामांचा तांडा मार्गस्थही झाला होता. इन्कांनी ते सोने आझांगारो ("अगदी दूरवरची जागा") पर्वतराजीत छपविण्याचा प्रयत्न केला पण सर्वच काही ते लपवू शकले नाहीत. स्पॅनिश लुटारूंनी कुझ्को नगराचा ताबा घेतला. पेरूतील ते एक अत्यंत संपन्न शहर होते. सोन्याच्या कित्येक अप्रतिम कलाकृती वितळवून त्याच्या शेकडो विटा स्पेनकडे रवाना झाल्या.

रशियन सोन्याच्या खाणी १६०० मध्ये सुरू झाल्या खऱ्या पण त्याचे मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन १९ व्या शतकापावेतो झाले नाही.

लॅटिन भाषेतील सोनेवाचक ऑरम ह्या शब्दाचे मूळ ऑरोरा (उषःकाल) यात सापडते. त्यावरूनच सोन्याचे Au हे चिन्ह प्रचलित झाले.

रूपे

रूपे हा सोन्यापेक्षा अधिक क्रियाशील धातु आहे. पृथ्वीच्या कवचामध्ये त्याचे प्रमाण सोन्यापेक्षा १५ पट अधिक भरते खरे पण प्राकृतिक म्हणजेच धातुरूपात त्याचा आढळ दुर्मिळच म्हटला पाहिजे. या दुर्मिळतेमुळेच पुरातन काळी सोन्यापेक्षा रूपेच अधिक मूल्यवान समजले गेले यात आश्चर्य वाटू नये. उदाहरणार्थ, इजिप्तमध्ये या दोन धातूंच्या किंमतीचे प्रमाण २.५:५ असे होते. सोन्याचा उपयोग प्रामुख्याने नाणी व अलंकार करण्यासाठी तर रूप्याचा उपयोग इतर कामांसाठी होत असे. उदाहरणार्थ, पाण्याची भांडी रूप्याची असत.

इ. स. पूर्वी ४ थ्या शतकात अलेक्झांडरने (शिकंदरने) पर्शिया आणि फोएनेशिया जिंकून हिंदुस्थानावर चाल केली. अगदी याच वेळी त्याच्या सैन्यात एका रहस्यमय अशा पोटाच्या विकाराची साथ उद्‌भवली. सारे सैन्य एवढे बेजार झाले की त्यांनी परतण्याचा आग्रह धरला. आश्चर्याची गोष्ट ही की सैनिकांच्या मानाने त्यांच्या वरिष्ठाना मात्र या रोगाची फारच कमी प्रमाणात बाधा झाली! सैनिकांप्रमाणे त्यांनाही मोहिमेच्या दगदगीचा व हालअपेष्टांचा त्रास होतच होता. यामागील कारणाचे स्पष्टीकरण होण्यास सुमारे दोन हजार वर्षे जावी लागली. शास्त्रज्ञांनी असे सिद्ध केले की पाणी पिण्याच्या व इतर कामासाठी सैनिक कथिलाच्या भांड्यांचा वापर करत होते तर त्यांचा अधिकारी-वर्ग रूप्याची भांडी वापरत असे. रूपे पाण्यात विरघळून जो कोलाइड-वृत्तीचा विद्रव तयार होई तो जंतुनाशक असल्यामुळे

अधिकारी-वर्ग वाचला. पाण्यात रूपे जरी अल्यल्प प्रमाणात विरघळत असले तरी पाणी जंतुघ्न करण्यास ते पुरेसे ठरते.

अतिप्राचीन काळापासून रूप्याच्या खाणी माहीत होत्या. ग्रीस, स्पेन आणि जर्मनीत रूप्याचे प्रचंड साठे होते. अमेरिका खंडाच्या शोधानंतर पेरू आणि मेक्सिको देशातही रूप्याच्या धातुकात – खनिजात – बहुधा शिशाची खनिजे हमखास आढळतात. अशा प्रकारच्या मिश्र खनिजापासून रूपे धातु मिळविण्याची – निष्कर्षणाची – एक जुनी पद्धत पुढीलप्रमाणे सांगितली जाते : रूप्याच्या खनिजाचे चूर्ण करून, ते पाण्याने धुतले जाई व कोरडे केले जाई. त्यात नंतर कमी तपमानात वितळण्यास मदत करणारा असा एखादा पदार्थ – विशोधन – मिसळून हे मिश्रण वितळवून गाळले जाई. त्यातून मिळणारा मिश्रधातु (लोणारी) कोळशाबरोबर तापविण्यात येत असे. त्यायोगे रूपे-शिसे हा मिश्रधातु मिळे. तो उघड्यावर म्हणजेच हवेच्या सन्निध्यात तापविण्यात येई. या क्रियेत रूप्याचे ऑक्सिडिकरण जवळ जवळ अजिबात न होता बहुतेक सर्व शिसे लेड ऑक्साइडमध्ये रूपांतरित होते. लेड ऑक्साइडचा वितळण-बिंदु ८९६ अंश से. व रूप्याचा ९६० अंश से. असल्यामुळे जवळ-जवळ शुद्ध स्वरूपातच रूपे उपलब्ध होई. आज मात्र रूप्याच्या शुद्धीकरणासाठी अधिक काटेकोर पद्धतीचा वापर होतो.

सोन्याप्रमाणेच रूप्याचाही उपयोग नाण्यांसाठी होत असे, पण सोन्याच्या मानाने रूप्याची किंमत दिवसेंदिवस घसरतच गेली. १८७४ मध्ये एक पौंड सोन्याची किंमत १५.५ पौंड रूप्याच्या किंमतीएवढी होती. ऑस्ट्रेलियात रूप्याचे साठे सापडल्यावर तर हे प्रमाण १ : ४६ एवढे खाली आले. इंग्लंड-मध्ये चलनासाठी होणारा सोन्यारूप्याचा असा द्विधातूमय वापर १८१६ मध्ये बंद करण्यात आला. पुढे इतर देशांनीही इंग्लंडचे अनुकरण केले.

'रूब्ल' (रूबल) आणि 'कोपेइका' (कोपेक) या रशियन शब्दांचा 'रूपे' या अर्थाशीच संबंध आहे. १३ व्या शतकात किव्हिअन रशियात रूबल हे चलन अस्तित्वात आले. हे 'नाणे' म्हणजे २०० ग्रॅम वजनाचा रूप्याचा तुकडा होता. त्यांचे उत्पादन करताना लांबलचक शीग घेऊन तिचे तुकडे करत. (रशियन शब्द 'रूबिच' म्हणजे 'तुकडे करणे'). पुढे हातात भाला ('कोपे' – भाला) धरलेल्या घोडेस्वाराचा ठसा असणारी नाणी पाडण्यात आली तेव्हा (१५३४ मध्ये) 'कोपेइका' व पुढे 'कोपेक' हा शब्द रूढ झाला.

सिल्व्हर (रूपे) या शब्दाचा उद्‌गम बहुधा "सेर्‌पू" या ॲसिसिअन शब्दापासून किंवा "सिल्बर" या गोथिक शब्दापासून झाला असावा. तसेच "अर्जेंटम" हा लॅटिन शब्द, संस्कृत भाषेतील "अरगंत" म्हणजे "सफेत, हलका" यापासून तयार होणे अगदी शक्य आहे.

तांबे

फ्रेंच रसायनज्ञ एम्. बर्थेलॉट याच्या मतानुसार सुमारे पाच हजार वर्षांपासून तरी मानवाचा तांब्याशी परिचय आहे. इतर शास्त्रज्ञांच्या मते तर ही ओळख याहीपेक्षा अधिक काळापासून असावी. तांबे आणि त्याचा कथीलयुक्त मिश्रधातु (कासे ऊर्फ ब्रॉंझ) या दोन धातूंचा वापर तर युगानुयुगे चालत आला आहे. या दोन साहित्यांनी मानवी इतिहासात एक सबंध युग – ब्रॉंझयुग – भूषविले ! अशा कोणत्या कारणांनी तांब्याने एवढी महत्त्वपूर्ण भूमिका पार पाडावी ? निसर्गात तांबे एकंदरीत विपुल प्रमाणात असून ते सहजपणे घडविताही येते. सुरुवातीसुरुवातीस नैसर्गिकरित्या उपलब्ध असणाऱ्या तांब्याच्या लगडी वापरल्या गेल्या, पण पुढे मागणी जसजशी वाढत गेली तसतशी तांब्याच्या खनिजांवर प्रक्रिया करून ते धातुरूपात मिळविण्याची निकडही वाढत गेली. या खनिजावर विगलन-क्रिया करणे तसे सोपे आहे, त्यासाठी तांब्याचा उच्च अंश असणारे खनिज फार फायदेशीर ठरे. ख्रि. पू. ३ ऱ्या सहस्रवर्षीय कालखंडात निरनिराळ्या हत्यारा-अवजारांसाठी तांब्याचा विस्तृत वापर प्रचलित होता. चिऑप्सचे इजिप्शियन पिरॅमिड ज्या प्रचंड दगडांमध्ये बांधले आहेत ते कापण्यासाठी तांब्याचीच हत्यारे वापरली गेली.

पुरातन काळातील तांब्याच्या अत्यंत जुन्या खाणी सायप्रस बेटांवर आढळतात. या सायप्रस शब्दाशीच लॅटिन भाषेतील क्यूप्रम व नंतर कॉपर या शब्दाचे नाते जुळते.

माणसाने कासे ऊर्फ ब्रॉंझ हा मिश्रधातु तयार करण्याची कला आत्मसात केली आणि त्यानंतर अश्मयुग व त्यावेळी वापरली जाणारी दगडी अवजारे व हत्यारे संपुष्टात आली. अर्थात ब्रॉंझ सर्वप्रथम केवळ योगायोगानेच हाती लागले असावे. इ. स. पूर्व ३५०० मधील क्रीट बेटांवर ज्या ब्रॉंझच्या वस्तु सापडल्या त्यामुळे वरील मतास बळकटीच येते. सुरुवातीसुरुवातीस ब्रॉंझ

चांगलेच महागडे होते आणि त्याचा वापर मुख्यतः दागदागिने व चैनीच्या वस्तूंसाठीच होत असे. प्राचीन इजिप्तमध्ये ब्राँझचे (उत्कृष्ट पॉलिश केलेले) आरसे वापरले जात. स्मारक तयार करणारे कलावंत आणि मूर्तीकार यांच्यासाठी तर ब्राँझ हा एक आदर्श मिश्रधातु ठरला. इ. स. पूर्व पाचव्या शतकापासून पुतळयांसाठी ब्राँझ वापरण्यास सुरुवात झाली. प्राचीन इजिप्तमध्ये मायसेनिअन काळापासून या कलेने विशेष प्रगती केल्याचे दिसते.

ब्राँझशिवाय, तांब्याचा आणखी एक मिश्रधातु पितळ ऊर्फ ब्रास हा असून त्याचीही माहिती ब्राँझप्रमाणे फार पुरातन काळापासून झालेली आहे. तांबे आणि जस्ताचे खनिज एकत्र वितळवून तो तयार केला जाई. प्राचीन इजिप्शियन, रोमन आणि ग्रीक लोकांना तांबे, ब्राँझ व पितळ यांची माहिती नक्कीच होती. शस्त्रास्त्रे तयार करण्यासाठी तांबे व ब्राँझ या दोहोंचा वापर केला जाई. ख्रि. पू. ८ व्या ते ६ व्या शतकातील तांब्याची व ब्राँझची शस्त्रास्त्रे – तलवारी, भाले, ढाली, सुरे, बाण, शिरस्त्राणे इ. इ. – अल्ताई, सैबैरिया, ट्रान्स-कॉकेशस येथे झालेल्या उत्खननात सापडलेली आहेत. प्राचीन रोम आणि ग्रीस देशातही ढाली व शिरस्त्राणे तयार करण्यासाठी तांब्याचा व ब्राँझचा वापर करत. बंदुकादी शस्त्रे विकसित झाल्यावर त्यांच्या निर्मितीतही तांब्याचा वापर होण्यास सुरुवात झाली.

लोह

ॲल्युमिनिअमनंतर लोह हाच मोठ्या प्रमाणात सापडणारा धातु आहे. तरीसुद्धा प्राकृतिक अथवा निसर्गजन्य धातुरूपात तो आढळणे फारच दुर्मिळ आहे. आपल्या पूर्वजांनी अगदी प्रथमतः जे लोखंड वापरले ते त्यांना पृथ्वीवर पडणाऱ्या उल्कापाषाणातून मिळाले. पाणी आणि हवेच्या सन्निध्यात लोह ताबडतोब ऑक्सिडीकरण पावते. यामुळेच ते नेहमी ऑक्साइडांच्या स्वरूपात सापडते. अशा त्वरित ऑक्सिडीकरणामुळे पुरातन काळी तयार केलेल्या लोखंडी वस्तु जशाच्या तशा सापडणे दुरापास्तच झाले आहे. सुमारे पाच हजार वर्षांपूर्वी मानवाने लोहाचा "शोध" लावला असावा. सुरुवातीस ते एवढे महाग होते की त्यास सोन्यापेक्षाही जादा किंमत पडे. ते मोठे समजले जाई आणि दागदागिने तयार करण्यासाठीच त्याचा वापर केला जाई. त्यासाठी पूरक म्हणून सोने वापरत.

सोने, रूपे आणि तांबे या धातूंचे अस्तित्व निरनिराळ्या देशातील लोकाना साधारणपणे एकाच कालखंडात जाणवले असावे. पण लोहाच्या बाबतीत मात्र वेगळी परिस्थिती आढळते. उदाहरणार्थ, इजिप्त आणि मेसापोटामियात लोहाच्या निष्कर्षणाची पद्धती ख्रि. पू. २ हजार वर्षांपूर्वी माहीत होती : ट्रान्स-कॉकेशस, आशिया-मायनर आणि प्राचीन ग्रीसमध्ये दुसऱ्या सहस्रवर्ष कालावधीच्या अखेरीस; भारतात त्याच कालखंडात पण त्याच्या मध्यास, तर चीनमध्ये त्याहीपेक्षा उशिरा म्हणजे ख्रिस्तपूर्व पहिल्या सहस्रवर्षीय कालखंडाच्या मध्यास त्याची माहिती झाली. आधुनिक जगातील देशांमध्ये युरोपियन लोकांच्या आगमनानंतर म्हणजे ख्रिस्तोत्तर दुसऱ्या सहस्रवर्षीय कालखंडात लोहयुग अवतरले. काही आफ्रिकन टोळ्यांनी ब्राँझयुगात पदार्पण करण्याऐवजी एकदम लोह वापरण्यासच सुरुवात केली. तेथील विशिष्ट नैसर्गिक परिस्थितीच त्यास कारणीभूत ठरली यात शंका नाही. ज्या देशांमध्ये तांबे आणि कथील यांचे नैसर्गिक साठे कमी होते तेथे इतर पर्यायी धातुस साहजिकच वाढती मागणी आपोआप आली. अमेरिकेत निसर्गजन्य तांब्याचे प्रचंड साठे असल्यामुळे नव्या धातूंचा शोध घेण्याची फारशी गरज नव्हती. यथावकाश लोहाचे उत्पादन चढत्या श्रेणीने वाढत गेले आणि एक मौल्यवान धातु म्हणून त्याचे महत्त्व नाहीसे झाले, तो एक सर्वसाधारण धातु ठरला. ख्रिस्ती कालगणनेच्या प्रारंभापासून तर लोहाचा वापर सर्वत्र होऊ लागला.

त्या काळी माहीत झालेल्या सर्व धातूंमध्ये लोहच अतिकठीण धातु ठरला. म्हणूनच तो जसजसा उपलब्ध व स्वस्त झाला तसतसा त्याचा अवजारे व शस्त्रास्त्रे यासाठी होणारा उपयोग वाढतच गेला. ख्रिस्तोत्तर पहिल्या सहस्रवर्षांच्या काळात लोहाच्या उत्पादनात लक्षणीय वाढ झाली. लोहाच्या विलगन आणि जडणघडणाच्या कामी भारतातील धातुशास्त्रज्ञांनी विशेष यश मिळविल्याचे दिसते.

लोहाच्या उत्पादन-क्रियांचा कसकसा विकास होत गेला ते पाहणे मनोरंजक ठरेल. अगदी सुरुवातीस मानवाने उल्कापाषाणातील लोह वापरले, पण हा प्रकार फारच दुर्मिळ असल्यामुळे ते इतर प्रकारे कसे तयार करता येईल याचा विचार झालाच असणार. त्यातूनच, लोहाचे खनिज भरपूर हवा खेळणाऱ्या जागी कोळशाबरोबर चांगले तापवून लोखंड मिळविण्याची रीत सुरू झाली. अशा प्रकारे मिळणारे लोखंड स्पंजाप्रमाणे सच्छिद्र आणि

भरपूर मळी असणारे व म्हणूनच अगदी हलक्या दर्जाचे ठरे. पुढे आतील बाजूने उष्णतारोधक साहित्याचा थर दिलेल्या व वरच्या बाजूने उघड्या तोंडाच्या भट्टीचा वापर सुरू झाला. लोहाच्या उत्पादनक्षेत्रात हा एक प्रमुख टप्पा होय. सिरियातील प्राचीन नगरांची जी उत्खनने झाली त्यातून हेच सिद्ध झाले की अशा प्रकारे उत्पादित केलेले लोखंड पुष्कळच चांगल्या दर्जाचे होते. त्यानंतर निरूपयोगी म्हणून दुर्लक्षित होणाऱ्या ओतीव लोखंडाचे चांगल्या लोखंडात रूपांतर करणे शक्य आहे असे ध्यानात आले. शिवाय त्यासाठी कोळसाही कमी लागून तयार होणाऱ्या लोखंडाची प्रतही वरच्या दर्जाची मिळते असेही दिसून आले.

१५ व्या शतकाच्या अखेरीपावेतो निव्वळ ओतीव लोखंड तयार करणारी विगालन भट्टी अस्तित्वात आली. त्यानंतरच्या विगालन पद्धतीत झपाट्याने सुधारणा होत गेल्या. १८५५ मध्ये पोलाद तयार करण्यासाठी परिवर्ती पद्धत प्रचारात आली व आजही ती वापरात आहेच. १८६५ मध्ये विकसित केल्या गेलेल्या मार्टिन-पद्धतीने तर जवळजवळ पूर्णतया मळीविरहित पोलादाचे उत्पादन करणे शक्य झाले.

लोहाचे रासायनिक चिन्ह Fe असे असून लॅटिन भाषेतील लोह या अर्थी असणाऱ्या फेरम या शब्दात त्याचा उद्‌गम आढळतो.

शिसे

निसर्गजन्य अशा धातुरूपात शिसे अतिशय दुर्मिळ आहे, पण खनिजापासून ते वेगळे करणे हे मात्र पुष्कळसे सोपे आहे. इजिप्शियनांना लोह व रूपे याबरोबरच शिसेही माहीत झाले. भारतात आणि चीनमध्ये ख्रि. पू. दुसऱ्या सहस्रवर्षीय कालखंडात शिशाच्या उत्पादनास सुरुवात झाली. ख्रि. पू. ६ व्या शतकात टायरे येथील व्यापारी प्रदर्शनात शिसे प्रदर्शित केल्याचे उल्लेख जरी सापडत असले तरी युरोपमध्ये शिशाचे उत्पादन उशिराच सुरू झाले. बाबिलॉनमध्ये हामुराबीच्या कारकीर्दीत शिशाचे भरपूर उत्पादन केले गेले. बऱ्याच काळापर्यंत कथील व शिसे याबाबत गोंधळ चालू होता व कथील म्हणजेच शिसे समजले जाई. कथिलास "प्लंबम अल्बम" असे नाव दिले गेले तर शिशास "प्लंबम नायग्रम" म्हटले गेले. पुढे मध्ययुगीन काळात या दोन धातूंतील फरक स्पष्ट झाला.

स्पेनमध्ये ग्रीकांनी व फोएनिशियन लोकांनी शिशाच्या अनेक खाणी सुरू केल्या. पुढे रोमन लोकांनी त्या बळकाविल्या. प्राचीन रोममध्ये भांड्याकुंड्यासाठी, लेखण्यांसाठी आणि रोमन लोकांनी बांधलेल्या सुप्रसिद्ध जलवाहिन्यांसाठी नळ म्हणून शिशाचा भरपूर वापर झाला. ऱ्होड्स बेटावरून शिशापासूनच तयार होणारे व्हाईट लेड अथवा सफेदा मोठ्या प्रमाणात निर्यात होत असे. सफेदा तयार करण्यासाठी शिरका ऊर्फ व्हिनेगरमध्ये शिशाचे तुकडे बुडवून ठेवत. त्यातून मिळणारा क्षार बराच वेळ पाण्यात उकळला जाई. रेड लेड या लालरंगी संयुगाचा शोध मात्र अचानकपणे लागला. पिरिअस या ग्रीक बंदरात उभ्या असलेल्या व सफेदाची पिपे असलेल्या जहाजास आग लागली. आग विझल्यानंतर जळलेल्या पिपांमध्ये सफेदाऐवजी लालरंगी एक नवाच पदार्थ दिसला -- हेच ते रेड लेड.

रशियात शिशाची बऱ्याच काळापासून माहिती होती, पण १८ व्या शतकापर्यंत त्याची उत्पादनक्रिया फारच प्राथमिक अवस्थेत होती. बंदुकीचा शोध लागल्यानंतर त्यासाठी लागणाऱ्या गोळ्यांसाठी शिशाचा वापर होऊ लागला. शिशाचे हे महत्त्व आजही वादातीत आहे. सैनिकी उपयोगांखेरीज इतर अनेक क्षेत्रात शिशाचे महत्त्वपूर्ण उपयोग आहेत. त्यापैकी अगदी परिचित असा उपयोग म्हणजे छपाईचे खिळे हा होय. त्यासाठी शिशाचा अँटिमनीयुक्त मिश्रधातु वापरला जातो. किरणोत्सारी प्रारणापासून संरक्षण करण्यासाठी शिशाची संरक्षण ढाल वापरली जाते.

ग्रीक लोकांनी शिशास मॉलिब्डॉस असे नाव दिले आणि त्याचे Pb हे रासायनिक चिन्ह लॅटिन शब्द प्लंबमशी संबंधित आहे.

कथील

निसर्गात कथील बहुदा कॅसिटेराइट या खनिजाच्या रूपानेच आढळते. कथिलाचा शोध मानवाने ६-६।। हजार वर्षांपूर्वी लावला असावा असे मानले जाते. याच वेळी तांब्याचाही शोध लागला होताच.

भूमध्य प्रदेशातील पर्शिया आणि भारत येथे कथील चांगले परिचित होते. ब्राँझच्या उत्पादनासाठी इजिप्तने पर्शियातून कथिलाची आयात केली. ए. ल्युकास यांनी त्यांच्या "प्राचीन इजिप्तमधील साहित्य व त्याची निर्मिती" या ग्रंथात म्हटले आहे की तेथे कथिलाची खनिजे माहीत नसली तरी

खि. पू. १५८०-१३५० या काळातील १८० व्या राजघराण्यांची जी थडगी उकरली गेली त्यात कथिलाच्या वस्तु सापडल्या व त्या सर्वात जुन्या समजल्या जातात. केवळ भूमध्य प्रदेशातच कथील माहीत होते असे नसून ब्रिटनच्या मध्यभागात कथिलाचे जे उत्पादन होत असे त्याचा उल्लेख ज्युलियस सीझरने केला आहे. १५१९ मध्ये कोर्टेझ जेव्हा दक्षिण अमेरिकेत आला तेव्हा मेक्सिकोत कथिलाची नाणी सर्रास चालू असल्याचे त्याला आढळले. अमेरिकेत कथिलाचा शोध नक्की केव्हा लागला ते सांगता येत नाही.

ब्राँझ या मिश्रधातूचा एक महत्त्वाचा घटक एवढाच काही कथिलाचा उपयोग नाही तर भांड्यांसाठी व दागदागिन्यांसाठीही त्याचा वापर होत असे. तांब्याचे गंजण्यापासून (क्षरणापासून) रक्षण करण्यासाठी त्यावर कथिलाचा थर देण्याबाबतचा उल्लेख थोरला प्लिनी व डायोक्कोराइडस यांनी केलेला आहे.

१३ व्या शतकापावेतो युरोपमध्ये कथिलाचे उत्पादन करणारा इंग्लंड हाच एक युरोपीय देश होता. त्याकाळी कथील महागच होते व त्यास रूप्याएवढी किंमत पडे. साहजिकच, चैनीच्या वस्तु तयार करण्यासाठीच त्याचा उपयोग करत. कथिलाच्या उत्पादनात वाढ झाल्यानंतर मात्र त्याचे विविध उपयोग प्रचारात आले. त्यापैकी एक परिचित उपयोग म्हणजे कथिलाचा संरक्षक थर चढविलेला पत्रा ऊर्फ टिनप्लेट हा होय.

लॅटिन भाषेतील कथील या अर्थी स्टॅनस हा शब्द संस्कृत भाषेतील "स्तन" म्हणजे घन यापासून तयार झाला. स्टॅनस शब्दावरूनच Sn हे त्याचे रासायनिक चिन्ह तयार झाले.

पारा

रशियन शास्त्रज्ञ आय्. ए. इफ्रेमव यांनी "पर्वतातील पिशाच्चांचे सरोवर" नामक एक कथा लिहिली आहे. या कथेनुसार स्वच्छ सूर्यप्रकाशात जो कोणी या सरोवरास भेट देई तो तात्काळ मृत्यू पावे. सरोवराच्या अवतीभोवती राहणाऱ्या लोकांचा असा दृढ समज होता की कोणत्याही भेट देणाऱ्या व्यक्तीचा द्वेष करणाऱ्या दुष्ट पिशाच्चांनी ते सरोवर व्यापले आहे. पुढे जेव्हा भूस्तरशास्त्रज्ञ त्या उंच पर्वतराजीत असणाऱ्या सरोवरापाशी पोहोचले तेव्हा त्यात केवळ पाणी नसून नैसर्गिक असा पाराही आहे हे पाहून ते चकितच झाले. तेथील दुष्ट पिशाच्चे म्हणजे इतर काहीही नसून पाऱ्याची

वाफच होती. ऊष्ण हवेत पारा पाण्याच्या वर येई आणि ठिकठिकाणी तो साचलेला पहावयास मिळे.

पारा प्राकृतिक म्हणजे निव्वळ धातुरूपात आढळतो हे तर खरेच पण कधी कधी तो अगदी अनपेक्षित ठिकाणीही नजरेस येतो. उदाहरणार्थ, स्पेनमधल्या काही पर्वतमय प्रदेशात विहिरींच्या तळाशी पारा आढळला आहे. भारत आणि चीन या देशातील लोकांना अगदी प्राचीन काळातही पाऱ्याचे ज्ञान होते. ख्रि. पू. दुसऱ्या सहस्रवर्षीय कालखंडाच्या मध्यास अस्तित्वात आलेल्या इजिप्शियन थडग्यांच्या उत्खननात पारा सापडला आहे. बहुतेक सर्व संशोधकांचा असा दृढ विश्वास आहे की सिन्नाबार हेच खनिज पुरातन काळापासून माहीत असणारे पाऱ्याचे एकुलते एक खनिज होय. तांबे व शिरका (व्हिनेगर) यांसह सिन्नाबारवर प्रक्रिया करून पारा मिळविण्याचे तंत्र थिओफ्रास्टोस (ख्रि. पू. ३००) याने विशद केले आहे. माणसास प्राचीन काळातही पाऱ्याचा शोध लागला याचे कारण हेच असावे की बऱ्यापैकी उच्च तपमानात सिन्नाबार तापविल्यास पारा धातुरूपात सहजपणे मोकळा होतो.

पाऱ्याचे जगातील सर्वात मोठे साठे स्पेन मधल्या अल्माडेन येथे आढळतात. अगदी रोमन साम्राज्यापासून तेथे खाणकाम चालू असून रोमन लोक दरवर्षी ४.५ टन पारा या खाणींमधून मिळवत.

प्राचीन काळात पाऱ्याचे अनेकविध उपयोग केले जात. पारदमिश्र वापरून आरसे तयार केले जात. पारा व त्याची संयुगे वैद्यकशास्त्रात वापरली जात. जस्ताचा थर देण्याची ऊर्फ जस्तविलेपन पद्धत प्रचारात येण्यापूर्वी वस्तूंना रूपेरी चकाकी देण्यासाठी पारा वापरीत. सोने अथवा रूपे आणि पारा यांचे पारदमिश्र हे मिश्रण इतर धातूंवर लावून ते उच्च तपमानात तापविले जाई. पाऱ्याची वाफ होऊन तो उडून जाई व वस्तूंवर सोन्याचा किंवा रूप्यांचा थर उरत असे. तथापि ही पद्धत आरोग्यास धोकादायक होती कारण पाऱ्याची वाफ विषारी असते. वायूंच्या अभ्यासामध्ये पाऱ्याचा खूपच उपयोग झाला. वायु-पंपांमध्ये व वायु-पात्रात पारा वापरला जाई.

ॲरिस्टॉटलने पाऱ्याचा उल्लेख "द्रवरूप शिसे" असा केला तर डायोस्कोराइड्सने त्यास "रूप्याचे पाणी" असे म्हटले. यावरूनच पाऱ्यास हायड्रार्जिअम हे लॅटिन नाव व त्यानुसार Hg हे चिन्ह मिळाले.

प्रकरण २ रे

मध्ययुगीन काळात शोधलेली मूलद्रव्ये

रासायनिक मूलद्रव्यांच्या इतिहासात ज्यांच्या शोधाबद्दल निश्चित असे काही सांगता येत नाही अशी अनेक मूलद्रव्ये आहेत. पहिल्या प्रकरणात ज्या ९ मूलद्रव्यांचा उल्लेख झाला आहे ती पुरातन काळातीलच आहेत असे मानण्यास आपणास भक्कम आधार मिळतो. फॉस्फरस, आर्सेनिक, अँटिमनी, बिस्मथ आणि जस्त या ज्या पाच मूलद्रव्यांचा सामावेश या प्रकरणात झाला आहे ती मूलद्रव्ये अथवा त्यांची खनिजे तरी इतिहासपूर्व काळापासून किंवा कमीतकमी ख्रिस्ती कालगणना सुरू होण्याच्या आधीपासून लोकांना माहीत होती असे म्हणण्याइतपत पुरावा जरूर मिळतो. मात्र त्याबाबतचे ज्ञान फारच गोंधळविणारे आणि संदिग्ध स्वरूपाचे होते. पुढे किमयाशास्त्राच्या काळात वेगवेगळया रासायनिक पद्धती प्रयोगशाळांत, रसायनज्ञांच्या दुकानाघरात वापरल्या जाऊ लागल्या, तेव्हा कुठे या पाच मूलद्रव्यांबाबत थोडेफार स्पष्ट ज्ञान झाले. तरीसुद्धा, त्यांचे मूलद्रव्यात्मक स्वरूप उलगडले नव्हतेच.

ज्या मूलद्रव्यांचा विचार आपण या प्रकरणात करणार आहोत ती मध्ययुगीन रसायज्ञांनी शोधली आहेत. पण विश्लेषणात्मक रसायनशास्त्र काही अस्तित्वात नव्हते, म्हणूनच केवळ परिचय होता म्हणून काही ती शोधली गेली असे निश्चितच म्हणता येणार नाही.

म्हणून तर फॉस्फरस, आर्सेनिक, अँटिमनी, बिस्मथ आणि जस्त यांचे इतिहास आगळे ठरले आहेत: निसर्गाच्या चमत्कारिक लहरीपणामुळे, एक जस्त वगळता बाकीची सारी मूलद्रव्ये आवर्ती कोष्टकातील पाचव्या गटाच्या मुख्य उपगटात असून त्यांच्या गुणधर्मातील साधर्म्यातून गोंधळच निर्माण झाला.

ज्या क्रमाने या मूलद्रव्यांचा शोध लागला त्यास मुळीसुद्धा महत्त्व नसल्यामुळे आपण आपल्या विवेचनास फॉस्फरसपासून सुरुवात करू या.

फॉस्फरस

पुरातन व मध्ययुगीन सर्व मूलद्रव्यांपैकी फक्त फॉस्फरसच्या शोधाचीच निश्चित तारीख (वर्ष) सांगता येते, ते वर्ष आहे १६६९. त्यापूर्वीच्या काळात मानवाला फॉस्फरसची माहिती होती की नाही याबाबत निश्चित काहीच सांगता येत नाही. १७ व्या शतकात जेव्हा फॉस्फरसचा अनपेक्षित शोध लागला तेव्हा शास्त्रीय जग अगदी आवाक् झाले, आणि या पदार्थाच्या (फॉस्फरसला या क्षणीच मूलद्रव्य म्हणून संबोधणे योग्य ठरणार नाही) वैशिष्टयपूर्ण गुणधर्मांमुळे मोठीच खळबळ उडाली. फॉस्फरस सर्वसाधारण तपमानात प्रदीप्त होतो हाच तो गुणधर्म होय. अशा प्रकारच्या संयुगांना (उदाहरणार्थ बोलोग्ना दगड — बरायटा हा पदार्थ, कोळसा व तेलाबरोबर भाजून मिळणारा म्हणजेच बेरिअम सल्फाइड, BaS) "फॉस्फर्स" (ग्रीक भाषेत "फॉस" म्हणजे "प्रकाश" व "फोरो" म्हणजे "धरणारा" किंवा "देणारा") म्हटले जाते. म्हणजेच, शोध लागण्यापूर्वीच या मूलद्रव्याचे नाव माहीत झाले होते.

फॉस्फरसच्या शोधाचा इतिहासही नवलपूर्ण असाच आहे. कोण्या एके काळी हॅम्बूर्ग येथे हेनिंग ब्रँड नावाचा एक कफल्लक व्यापारी राहत होता. त्याकाळी किमयाशास्त्र हळूहळू लोप होण्यास सुरुवात झाली होती तरी "परीसा"ची मात्र जनमनावरील पकड कायम होती. हेनिंग ब्रँड हा एक असाच त्यावर विश्वास ठेवणाऱ्यांपैकी एक होता. व्यापार वृद्धिंगत करण्याच्या उद्देशाने त्याने निरनिराळ्या संयुगांमध्ये काही प्राथमिक पदार्थ (खरे तर मूलद्रव्य) सापडतो का, याचा शोध घेण्यास सुरुवात केली. त्याच्या या प्रयोगातून मानवी मूत्रही सुटले नाही. तेलाप्रमाणे अगदी दाट होईपर्यंत त्याने ते उकळले व अखेर लालरंगी द्राव तयार झाला. त्यास त्याने मूत्र-तेल असे नाव दिले. आणखी एकदा ऊर्ध्वपातन केल्यावर पात्राच्या तळाशी एक काळा साखा आढळला. हा अवशेष बराच वेळ तापविल्यानंतर पात्राच्या आंतर्भागावर पांढऱ्या व प्रकाशणाऱ्या पदार्थाचे आवरण दिसू लागले. ते पाहून हेनिंग ब्रँडचा आनंद काय वर्णावा! अगदी प्राथमिक म्हणजे मूलद्रव्याच्या रूपातच प्रत्यक्ष अग्नीच मिळाल्याचा त्याचा समज झाला. आपल्या शोधाबाबत त्याने गुप्तता ठेवली व अशा प्रयोगातून इतर धातूंचे

सोन्यात रूपांतर करणे शक्य होईल या आशेने प्रयोग चालूच ठेवले. अर्थात ते निष्फळ ठरले हे सांगावयास नकोच.

ब्रँडला आपल्या शोधाबद्दल फार काळ गुप्तता राखणे जमले नाही आणि अखेर त्याने हा प्रकार स्वतःच उघड केला. सोने मिळविण्याचे प्रयत्न अयशस्वी ठरल्यानंतर त्याने हा नवा पदार्थ विक्रीस ठेवण्याचे ठरविले. तो तयार करण्याची रीत मात्र गुप्त ठेवली. पण त्यातही तो अयशस्वीच ठरला. युरोपमध्ये फॉस्फरसची माहिती झाली आणि अनेक शास्त्रज्ञांचे तिकडे लक्ष वेधले. त्यात जी. लिब्नीझ, जे. क्रॉफ्ट, जे. कंकेल, रॉबर्ट बॉइल, चार्ल्स हायगेन इत्यादींचा सामावेश होता. त्यावेळी जे. कंकेल हा सॅक्सनीच्या दरबारात किमयागार म्हणून वावरत होता. हेनिंग ब्रँडकडून फॉस्फरसचे गुपित काढण्यासाठी जे. क्रॉफ्ट या आपल्या सहाय्यकास त्याने तिकडे रवाना केले. क्रॉफ्ट याने २०० थेलर मोजून ब्रँडकडून फॉस्फरस तयार करण्याचे तंत्र हस्तगत केले, पण ते आपल्या जवळच ठेवण्याचे ठरविले. या आश्चर्यपूर्ण पदार्थाच्या प्रकाशाने लोकांवर छाप पाडण्यासाठी क्रॉफ्ट युरोपच्या दौऱ्यावर निघाला. जे. कंकेलने स्वतःच फॉस्फरस तयार करण्याचा कसून प्रयत्न केला व सरतेशेवटी हे नवीन मूलद्रव्य अलग करण्यात तो यशस्वीही झाला.

हेनिंग ब्रँडने ज्या प्रकारे फॉस्फरस तयार केला त्याबाबत सविस्तर माहिती जरी नसली तरी कंकेलच्या पद्धतीबाबत (१६७६) मात्र तशी ती आहे. प्रथम मूत्राचे ऊर्ध्वपातन करून एकप्रकारचा काळा साका मिळविला जात असे. तो काळजीपूर्वक तापवून नंतर वाळू व कोळशाबरोबर तीव्रतेने तापविला जाई. त्यातील सहज उडून जाणारे पदार्थ व तेलद्रव्ये नाहीशी झाल्यावर पात्राच्या थंड पृष्ठभागावर पांढऱ्या थराच्या रूपात फॉस्फरस दिसू लागे. या साऱ्या क्रियेत पुढील रासायनिक अभिक्रिया अंतर्भूत आहेत :

(अ) $NaNH_4HPO_4 \xrightarrow[\text{उष्णता}]{} NaPO_3 + NH_3 \uparrow + H_2O$

(ब) $2NaPO_3 + SiO_2 \xrightarrow[\text{उष्णता}]{} Na_2SiO_3 + P_2O_5$

(क) $P_2O_5 + 5C \xrightarrow[\text{उष्णता}]{} P_2 + 5CO \uparrow$

तथापि, इतरांप्रमाणेच आपली पद्धत गुप्त राखण्याचे कंकेलनेही ठरविले. पुढे १६८० मध्ये रॉबर्ट बॉइल हा फॉस्फरस मिळविणारा तिसरा रसायनशास्त्रज्ञ ठरला. त्याने बऱ्याच प्रमाणात वरील रीतच वापरली होती. आणि लंडन रॉयल सोसायटीस पाठविलेल्या खाजगी पत्रात ती विशद केली होती. ए. हँकेविट्झ या बॉईलच्या सहाय्यकाने फॉस्फरसचे उत्पादन बऱ्यापैकी मोठ्या प्रमाणात करून खूप फायदा मिळविला. फॉस्फरस त्यावेळी महागडाच पदार्थ होता.

फॉस्फरसचा फक्त एकच प्रकार – अपरूप – असल्याचे (पांढरा फॉस्फरस) दीर्घकाळ मानले गेले. पण पुढे १८४७ मध्ये सुमारे ३०० अंश से. तपमानात व हवेशिवाय पांढरा फॉस्फरस तापवून ए. श्रोटर याने तांबडा फॉस्फरस मिळविला. पांढऱ्या फॉस्फरसप्रमाणे तो हवेशी संयोगही पावत नाही किंवा विषारीही नाही. १९३४ मध्ये पी. ब्रिजमन याने तिसरा अपरूप म्हणजे कृष्णवर्णी फॉस्फरस मिळविला व तो त्याने फॉस्फरस उच्च दाबाखाली तापवून तयार केला.

आर्सेनिक

आर्सेनिकची संयुगे, विशेषतः सल्फाईड संयुगे म्हणजे As_2S_3 (ऑर्पिमेंट) आणि As_4S_4 (रिअॅल्गर किंवा सँडॅरॅक) यांची ग्रीक व रोमन लोकांना चांगली माहिती होती. ऑर्पिमेंट हे "आर्सेनिक" या नावानेही ओळखत. थोरला प्लिनी व डायोस्कोरिडस यानी आर्सेनिकच्या विषारी गुणधर्माचा उल्लेख केलाच आहे. डायोस्कोरिडसने असाही उल्लेख केला आहे की आर्सेनिक भाजून व्हाईट आर्सेनिक (ऑक्साइड) तयार करता येते.

आर्सेनिक कधीकधी निसर्गात प्राकृतिक अवस्थेतही आढळते आणि त्याच्या संयुगापासून ते मिळविणे बरेचसे सोपे असते. मूलद्रव्यात्मक आर्सेनिक प्रथमतः कोणी मिळविले याची माहिती नाही. त्याच्या शोधाचे श्रेय बहुधा अल्बर्ट दि ग्रेट यास दिले जाते. "आर्सेनिक"पासून धातुरूप अर्सेनिक मिळविण्यासाठी अंड्यांच्या टरफलांबरोबर ते भाजले जाते अशी रीत पॅरॅसेल्ससने वर्णिली आहे. काही दाखल्यानंतर धातुरूप आर्सेनिक खूपच पूर्वीपासून माहीत होते, पण तो नैसर्गिकरित्या आढळणाऱ्या पाऱ्याचा एक प्रकार समजला जाई. याचे कारण असे की पाऱ्याच्या खनिजाचा एक प्रकार व आर्सेनिक सल्फाइड

यांच्या दरम्यान साम्य आढळते व पाऱ्याप्रमाणेच खनिजापासून आर्सेनिकचे निष्कर्षण हे काहीसे साधेसोपे होते.

मध्ययुगीन काळात आर्सेनिक फक्त युरोपमध्येच माहीत होते असे नव्हे तर आशियातही ते ठाऊक होते. खनिजापासून आर्सेनिक कसे मिळवावे याचे ज्ञान चिनी लोकांना होते. आर्सेनिकच्या विषारी गुणांमुळे मृत्यु येतो की नाही हे मध्ययुगीन युरोपमध्ये ठाऊक नव्हते, पण तसे निश्चित ठरविण्याची रीत चिनी किमयागारांना माहीत होती. दुर्दैवाने ती ज्ञात नाही. पुढे युरोपमध्ये डी. डॅश यांनी मानवी शरीरातील व मृत्यूपूर्वी खाण्यात आलेल्या अन्नातील आर्सेनिकचा अंश ठरविण्याची पद्धत विकसित केली. या अतिसंवेदी पद्धतीचा आजही वापर होतो.

कथिलाबरोबर कधीकधी आर्सेनिकही येत असल्यामुळे कथिलाच्या नव्या भांड्यातील पाणी अथवा मद्य प्राशन केल्यामुळे मृत्यू ओढवला, अशा नोंदी (विशेषतः चिनी वाङ्मयात) आढळल्या आहेत.

बराच काळ खुद्द आर्सेनिक आणि व्हाइट आर्सेनिक किंवा आर्सेनिकच्या ऑक्साइडबाबत लोकांचा गोंधळ उडत होता. ते दोन्ही पदार्थ एकच असावेत असेच समजले जाई. हा गोंधळ प्रथम एच्. ब्रँडने व नंतर ए. लव्हॉसिएने, ते एक स्वतंत्र मूलद्रव्य आहे असे दाखवून संपुष्टात आणला.

उंदीर-घुशींसारखे कृतकवर्गीय प्राणी मारण्यासाठी व कीटकनाशक म्हणून आर्सेनिकचा उपयोग दीर्घकाळापासून केला जात आहे. आर्सेनिकचे रासायनिक चिन्ह As हे असून ते आर्सेनिकम या लॅटिन शब्दापासून तयार केले गेले. खुद्द या शब्दाची व्युत्पत्ती मात्र स्पष्ट नाही.

अँटिमनी

अनादिकालापासून अँटिमनी व त्याची संयुगे माहीत आहेत. काही तज्ज्ञांच्या मतानुसार ख्रि. पू. ३४०० च्या सुमारास द. बाबिलोनमध्ये या धातूचा वापर भांडी तयार करण्यासाठी होत असे. तथापि, पुरातन काळात ते प्रामुख्याने सौंदर्य प्रसाधनांसाठीच (उदा. भुवया रंगविण्याचा रंग, इत्यादी) वापरत. इजिप्तमध्ये मात्र अँटिमनी अजिबात ठाऊक नव्हते असे म्हटले तरी चालेल. तेथील दफनभूमींमध्ये सापडलेल्या अवशेषांवरून व मसाला भरून टिकविलेल्या प्रेतांवरील रंगांवरून हेच सिद्ध होते.

पुरातन काळात शिशालाच अँटिमनी समजण्याचा गोंधळ होत असे. फक्त प्रबोधनकाळातील किमयाशास्त्रावरील वाङमयातच अँटिमनीचे बरेचसे अचूक वर्णन आढळते. इतर धातूंच्या मानाने अँटिमनी हा बराचसा वेगळया स्वरूपाचा धातु आहे असे जी. अॅग्रिकोला याने स्पष्टपणे सांगितले आहे. बॅसिलियस व्हॅलेंटिनस याने अँटिमनीवर एक संपूर्ण ग्रंथच लिहिला असून त्यामध्ये या धातूचे व त्याच्या संयुगांचे उपयोग विशद केले गेले आहेत.

अँटिमोनिअम या लॅटिन शब्दाचे विविध प्रकारे अर्थ केले जातात. तथापि, अँटिमोनस या ग्रीक शब्दावरूनच अँटिमनी हा शब्द तयार झाला असावा. मूळ ग्रीक शब्दाचा अर्थ "एकांताचा शत्रु" असा होतो व अँटिमनी-बाबत तो सार्थपणे लागू पडतो. कारण अँटिमनी नेहमीच इतर खनिजांबरोबर आढळत असल्याचे त्यातून ध्वनित होते.

बिस्मथ

अनेक शतकांपासून बिस्मथ धातु जरी माहीत असला तरी अँटिमनी, शिसे व कथील या धातूंबरोबर नेहमीच त्याची गल्लत केली जाई. पॅरॅसेल्सस म्हणतो की अँटिमनीचे दोन प्रकार आढळतात. त्यापैकी एका कृष्णवर्णी प्रकाराचे शिशाशी चांगलेच साम्य असून सोने शुद्ध करण्यासाठी त्याचा उपयोग केला जाई. दुसरा प्रकार शुभ्रवर्णी असून त्यास बिस्मथ असे नाव दिले गेले. हा प्रकार कथिलाशी मिळताजुळता असून या दोहोंचे मिश्रण रूप्या-प्रमाणे आढळते. रासायनिक दृष्टिकोनातून मात्र या गोंधळाचा उलगडा सहज करता येतो. अँटिमनी व बिस्मथ हे समानधर्मी असून त्यांच्या पूर्वीच्या गटातील शिशाशी व कथिलाशी त्यांची वैशिष्टचे जुळतात.

पॅरॅसेल्ससच्या मानाने अॅग्रिकोला मात्र बिस्मथचे खूपच अचूक वर्णन करतो, तसेच सॅक्सनी येथील खाणीतून उपलब्ध होणाऱ्या खनिजापासून हा धातु निष्कर्षित करण्याची पद्धतीही देतो. खाणकाम करणाऱ्यांची मात्र अशी समजूत होती की बिस्मथ आणि कथीलसुद्धा शिशाचेच प्रकार असून बिस्मथचे रूप्यात रूपांतर होऊ शकते.

मध्य रशियात १५ व्या शतकापासूनच बिस्मथ माहीत होते. पुस्तक छपाईचा विकास होत गेला व त्याबरोबरच अँटिमनीसह बिस्मथही छपाईच्या खिळयांसाठी वापरले जाऊ लागले. वाङमयात बिस्मथला जेवढी नावे मिळाली

तेवढी इतर कोणत्याच मूलद्रव्यास मिळाली नसतील. इ. फॉन लिप्मान यानी आपल्या "१४८०-१८०० कालखंडातील बिस्मथचा इतिहास" या पुस्तकात, बिस्मथची युरोपात प्रचलित असलेली एकवीस नावे दिलेली आहेत. बिस्मथ हा एक स्वतंत्र धातु (मूलद्रव्य) आहे ही स्वच्छ कल्पना मात्र केवळ १८ व्या शतकातच रुजली.

जस्त

ज्या मूलद्रव्यांच्या संयुगांबाबत मानवास फार पुरातन काळापासून माहिती झालेली आहे त्यापैकीच जस्त हे एक होय. त्याचे उत्तम प्रकारे परिचित असणारे खनिज म्हणजे कॅलॅमाइन (झिंक कार्बोनेट). ते भाजले असता झिंक ऑक्साइड मिळे व त्याचे विस्तृत उपयोग होत होते. नेत्ररोगांवर इलाज हा एक त्यापैकी उपयोग होय.

झिंक ऑक्साइडपासून जस्त धातु मिळविणे जरी पुष्कळसे सोपे असले तरी तांबे, लोह, कथील व शिसे यांच्यानंतर बऱ्याच काळाने ते शक्य झाले. याचे कारण हे की झिंक ऑक्साइडचे कोळशाच्या सान्निध्यात क्षपण करून हा धातु मिळविण्यासाटी उच्च तपमानाची (सुमारे ११०० अंश से.) जरूरी असते. जस्ताचा उकळणबिंदु मात्र ९०६ अंश से. असल्यामुळे जस्ताचे सहजगत्या वाफेत रूपांतर होऊन ती भट्टीतील अभिक्रिया चालणाऱ्या भागातून निसटत असे. धातुरूप जस्त अलग करण्यापूर्वी त्याच्या खनिजाचा पितळ (जस्त व तांबे यांचा मिश्रधातु) तयार करण्याकडे उपयोग होई. पितळ हे ग्रीस, रोम, भारत व चीन देशात प्रचलित होतेच. असे सिद्ध झाले आहे की ऑगस्टसच्या (ख्रि. पू. २० – ख्रिस्तोत्तर १४) कारकीर्दीत रोमन लोकांनी पहिल्यांदाच पितळ तयार केले. पितळ तयार करण्याची रोमन लोकांची पद्धत अगदी १९ व्या शतकापर्यंत वापरली जात असे हे खूपच मनोरंजक ठरते.

धातुरूप जस्त केव्हा तयार केले गेले हे सांगणे अशक्य आहे. प्राचीन डॅसियन अवशेषांमध्ये २७.५ टक्के जस्त असणारी एक मूर्ती मिळाली होती. पितळच्या उत्पादनातील एक दुय्यम उत्पादन म्हणून कदाचित जस्त धातुरूप मिळविले गेले असावे.

१०-११ व्या शतकात युरोपातील जस्त-उत्पादनाचे ज्ञान लुप्त झाले आणि भारत व चीनमधून जस्ताची आयात करणे भाग पडले. मोठ्या प्रमाणात जस्त तयार करणारा चीन हा पहिला देश ठरला. उत्पादनपद्धती तर अगदीच सोपी होती. कॅलामाइन खनिजाने मातीची भांडी भरून ती एकावर एक याप्रमाणे रचली जात. भांड्यांच्या मधल्या जागा कोळशाने भरून काढत व भांडी धगधगीत उष्णतेत तपविली जात. त्यानंतर भांडी थंड केली असता जस्ताची वाफ भांड्यांमध्ये घनीभूत होई. भांडी फोडून त्यातील जस्त धातु मिळविला जाई.

१६ व्या शतकात युरोपीयन लोकांनी जस्त-उत्पादनाची पद्धत पुन्हा शोधून काढली. या वेळेपावेतो एक स्वतंत्र धातु म्हणून जस्तास मान्यता मिळालीच होती. त्यानंतरच्या दोन शतकात अनेक रसायनशास्त्रज्ञानी व धातुशास्त्रज्ञांनी जस्त-निष्कर्षणाच्या अनेक पद्धतींचा अभ्यास केला. या क्षेत्रात प्रमुख श्रेय ए. मार्गग्राफ यांना दिले जाते. १७४६ मध्ये त्यांनी "स्थानिक कॅलामाइन खनिजांपासून जस्त निष्कर्षणाच्या पद्धतींचे विवेचन" हा एक प्रदीर्घ ग्रंथ लिहून या क्षेत्रात अतिशय मोलाची कामगिरी केली. त्याना असेही आढळले की रॅमेल्सबर्ग (जर्मनी) येथील शिशाच्या खनिजात जस्तही आढळते व स्फॅलेराइट या नैसर्गिक झिंक सल्फाइड खनिजापासून जस्त मिळविणे शक्य आहे.

ल्युकोमा अर्थात शुभ्र-स्तर अशा अर्थी लॅटिन भाषतील शब्दामध्ये झिंक या संज्ञेचा संबंध आढळतो. काही अभ्यासकांच्या मते ही संज्ञा जर्मन भाषेतील झिंक या शब्दावरून आली आहे.

प्रकरण ३ रे

हवेत आणि पाण्यात आढळलेली मूलद्रव्ये

या प्रकरणात आपण हायड्रोजन, ऑक्सिजन आणि नायट्रोजन या तीन वायुरूप मूलद्रव्यांचा विचार करणार आहोत. या वायूंचा शोध म्हणजे १८ व्या शतकाच्या उत्तरार्धातील एक अत्यंत महत्त्वाची अशी रसायनशास्त्रीय घटना होय. पृथ्वीच्या वातावरणाचा बहुतेक भाग नायट्रोजन व ऑक्सिजन या दोन वायूंनी व्यापलेला असून इतर वायु केवळ नाममात्र स्वरूपात आहेत. हायड्रोजन व ऑक्सिजन यांच्या संयोगातून पाण्यासारखे मोठे विस्मयकारक संयुग तयार होते. ही तीन मूलद्रव्ये आणि कार्बन यांतून सर्व कार्बनी संयुगे तयार होतात व ती कोणत्याही अपवादाखेरीज सर्वच्या सर्व प्राणी आणि वनस्पतींमध्ये असतात.

हायड्रोजन, ऑक्सिजन व नायट्रोजन यांचे शोध व त्यांचे खरेखुरे ज्ञान यांचा रसायनशास्त्राच्या विकासावर फार सखोल असा परिणाम झाला, कारण त्यामुळे अनेक आधुनिक विचारप्रणाली अस्तित्वात येण्यास मदत झाली. या वायूंच्या शोधांशी ज्या नवनवीन संकल्पनांचा प्रत्यक्ष संबंध आहे त्यांची नमुन्यादाखल ही छोटीशीच यादी पुरेशी आहे. ए. लव्हॉसिएने मांडलेला ज्वलनाचा ऑक्सिजन-सिद्धांत; डाल्टनचा अणु-सिद्धांत; आम्ले आणि आम्लारींची विचारप्रणाली; अणुभारासाठी (वस्तुमानासाठी) ऑ-क्सिजन व हायड्रोजनसंबंधित मापनश्रेणी; हायड्रोजन म्हणजे सर्व मूलद्रव्यांचे प्राथमिक – मूलभूत – द्रव्य ह्या व्ही. प्राऊट यांच्या कल्पनेवरून वरील विधा-नाची सत्यता सहज लक्षात येईल.

मूलद्रव्यांच्या इतिहासात ऑक्सिजन, हायड्रोजन आणि नायट्रोजन यांच्या शोधास एक खास स्थान मिळाले आहे. या मूलद्रव्यांचे खरेखुरे स्वरूप समजावून घेणे हे फार गुंतागुंतीचे, सतत विरोधाभास निर्माण करणारे आणि त्यामुळेच ही एक दीर्घकालीन प्रक्रिया ठरली. रासायनिक अभिक्रियांच्या

ओघात (हायड्रोजन, नायट्रोजन व ऑक्सिजन) यासारखे नवीन वायु मिळून-सुद्धा शास्त्रज्ञांना कल्पना येत नव्हती की ते अगदी नवी मूलद्रव्ये हाताळीत आहेत.

अनादी कालापासून वायूचा जो एकुलता एक प्रकार माहीत होता तो म्हणजे "हवा" हा होय. पण तो भौतिकशास्त्राचा विषय होता आणि रसायन-शास्त्रास त्यात सुतराम् स्वारस्य नव्हते! निरनिराळ्या अभिक्रियांमध्ये जे नवनवे वायुरूप पदार्थ तयार होत असत (उदा. किण्वनक्रिया, कुजण्याची क्रिया, इत्यादी) ते म्हणजे निव्वळ हवेचेच प्रकार एवढेच शास्त्रज्ञ समजत असत. वायु (गॅस) ही कल्पना केवळ १७ व्या शतकाच्या सुरुवातीस पुढे आली व ती सुप्रसिद्ध निसर्गवेत्ता जे. फॉन हेल्माँट याने मांडली. 'कॅओस' या ग्रीक शब्दावरून त्यास "गॅस" हा शब्द सुचला. एकदा हेल्माँ-टने ६२ पौंड वजनाचे लाकूड जाळले आणि त्यातून त्यास फक्त १ पौंड राख मिळाली. उर्वरित लाकडाचे कशात रूपांतर झाले असावे? तर ते "काष्ठ-चैतन्यात" असा त्याचा विश्वास होता. त्याने लिहिले आहे की, पूर्वी माहीत नसलेल्या या नव्या "चैतन्या"स आपण "गॅस" (ऊर्फ वायु) हे नवीन नाव दिले. आज आपण समजू शकतो की त्या शास्त्रज्ञाने खरे तर कार्बन डायॉक्साइड मिळविला आणि त्याचेच पुनरुत्पादन पुढे १०० वर्षांनी जे. ब्लॅक या इंग्रज भौतिकशास्त्रज्ञाने केले. पण हेल्माँटला आपण काय शोधले ते समजलेच नाही, त्यास "काष्ठ-चैतन्य" म्हणून तो मोकळा झाला, कारण त्यात त्याने निव्वळ हवेचाच एक प्रकार पाहिला.

तर मग पुढे नवा अर्थ मिळालेली "शोध" ही संज्ञा हवेच्या आणि पाण्याच्या घटकांना – मूलद्रव्यांना – लावण्याचा आपणास कसा काय अधि-कार पोहोचतो? या उलट, विज्ञानपूर्व काळात योगायोगाने जे शोध लागले त्यापेक्षा हायड्रोजन, ऑक्सिजन व नायट्रोजन यांच्या शोधाचे स्वरूप कितीतरी वेगळे आहे. एक तर १८ व्या शतकात "फ्लॉजिस्टॉन विचारप्रणाली" ही उत्तम प्रकारे प्रस्थापित झाली होती. दुसरे असे की, जे फॉन हेल्माँटमुळे पदार्थाची वायुरूप अवस्था अखेर रसायनशास्त्राच्या अभ्यासाचा विषय ठरला आणि स्वतःच्या स्वतंत्र संशोधन-पद्धती आणि प्रायोगिक उपकरणे यासह वायवीय-रसायनशास्त्र ही एक नवी शाखा उदयास आली. वेगळ्या प्रकारे असेही सांगता येईल की सैद्धांतिक संकल्पनांवर आधारलेले व हेतुतः केल्या गेलेल्या प्रायोगिक कार्यामुळेच वायुरूप मूलद्रव्यांचे शोध शक्य झाले. म्हणूनच,

या मूलद्रव्यांच्या हकिकतीस हात घालण्यापूर्वी फ्लॉजिस्टीय सिद्धांत आणि वायवीय रसायनशास्त्राचा पार्श्वभूमी म्हणून विचार करणे श्रेयस्कर ठरेल.

मूलत: फ्लॉजिस्टीय सिद्धांत अतिशय सरल स्वरूपाचा आहे व त्यामुळेच तो सहज पटणारा ठरतो. "फ्लॉजिस्टॉस" (म्हणजे ज्वलनशील) या ग्रीक शब्दापासून हे नाव तयार झाले आहे. या विचारप्रणालीमुळे ज्वलन-क्रिया, धातूंची निस्तापनक्रिया (खूप भाजण्याची, तापविण्याची क्रिया) तसेच श्वसनक्रिया यात अंतर्भूत असणाऱ्या विविध अभिक्रिया यांच्या स्पष्टीकरणास मदत होते, पण त्याचे मूलस्वरूप मात्र संदिग्धच राहते. हे टाळण्यासाठी वरील साऱ्या अभिक्रियात जो प्रमुख पदार्थ मानला गेला त्यास फ्लॉजिस्टॉन म्हटले गेले.

अनेक शास्त्रज्ञांनी पदार्थाच्या ज्वलनाबाबत या ना त्या कल्पना मांडल्या तरी जी. स्टाल या जर्मन रसायन व वैद्यकशास्त्रज्ञासच फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताचा खरा जनक समजले जाते. त्याने पुढील प्रकारे आपल्या विचाराचे समर्थन केले आहे. सर्व पदार्थ ज्वलनक्षम असतात याचे कारण म्हणजे त्या त्यात फ्लॉजिस्टॉन असते म्हणून. पदार्थात फ्लॉजिस्टॉनचे प्रमाण जेवढे जास्त तेवढा पदार्थ अधिक त्वरेने जळतो. कोळसा हा असा पदार्थ आहे की तो सर्वस्वी शुद्ध फ्लॉजिस्टॉनमय आहे. निस्तापनात धातूंमधल्या फ्लॉजिस्टॉनचा ऱ्हास होतो आणि धातूचे मृत्तिकेत (भस्मात) रूपांतर होते. अशा निस्तापित धातूमध्ये फ्लॉजिस्टॉन मिळविल्यास त्याचे परत शुद्ध धातूत रूपांतर होते. धातूंच्या कपचांचे किंवा पापुद्र्यांचे कोळशासह निस्तापन करणे हे याचे उत्कृष्ट उदाहरण होय. ही क्रिया तर अगदी आदिम धातुशास्त्रज्ञांना माहीत होती.

आधुनिक रसायनशास्त्राच्या दृष्टिकोनातून याचे सार असे की ऑक्सिडीकरणाऱ्या अभिक्रियेत (उदा. निस्तापनक्रियेत धातूचे ऑक्साइडमध्ये रूपांतर होणे) फ्लॉजिस्टॉन नष्ट होतो तर क्षपणक्रियेत (धातूचे ऑक्साइड कोळशाबरोबर भाजणे) फ्लॉजिस्टॉन पुनरपी मिळविला जातो. सारे कसे सरळ आणि स्वच्छ! पण रसायनशास्त्राचे प्रारंभिक धडे गिरविणाऱ्या विद्यार्थ्यालाही सहज ध्यानात येईल की फ्लॉजिस्टॉन विचार किती अर्थहीन आहे. या विचारानुसार असे ठरते की ज्वलनानंतर एखाद्या पदार्थाचे वजन वाढण्याऐवजी घटले पाहिजे, म्हणजेच धातूंची ऑक्साइडे मूळ धातूपेक्षा हलकी भरली पाहिजेत. फ्लॉजिस्टॉन-विचारानुसार धातु म्हणजे जटील संयुगे (धातु

अधिक फ्लॉजिस्टॉन) आणि त्यांची ऑक्साइडे (भस्मे) म्हणजे सरल रचनेचे पदार्थ (धातु उणे फ्लॉजिस्टॉन) ठरतात.

असे असूनही सुमारे एक शतकभर फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांत विद्वद्मान्य ठरला एवढेच नव्हे तर त्यावेळच्या प्रसिद्ध अशा जी. कॅव्हेंडिश, जे. प्रिस्ट्ले आणि सी. शील या शास्त्रज्ञांनी मोठ्या हिरीरीने त्याचे समर्थन केले. विशेष हे की यांची नावे हवा आणि पाण्यात आढळणाऱ्या मूलद्रव्यांच्या शोधाशी निगडित झालेली आहेत! कसेही असो, त्यांच्या शोधांच्या प्राथमिक काळात तरी फ्लॉजिस्टॉन संबंधित विचारानी महत्त्वाची भूमिका बजाविली हे विसरून चालणार नाही.

वायूंच्या अभ्यासात हे जे नवे स्वारस्य निर्माण झाले त्यामुळेच वायवीय रसायनशास्त्राचा विकास साधला. हायड्रोजन, नायट्रोजन आणि ऑक्सिजन यांच्या शोधमार्गावरील तो दुसरा अटळ टप्पा ठरला. तथापि, वायु तयार करणे, तो साठविणे आणि त्याचा गुणधर्म जाणून घेणे यासाठी पुरेशा साधनसामग्रीचा व पद्धतींचा जो अभाव होता त्यामुळे वायूंच्या अभ्यासास दीर्घकाळ खीळ पडत गेली. जनावरांच्या पोटाची पिशवी हेच काय ते वायु साठविण्याचे आणि वजनादी क्रिया करण्याचे एकमेव साधन अथवा पात्र होते. परिणामी वायूंचा अभ्यास हा घन किंवा द्रव पदार्थांच्या अभ्यासापेक्षा कितीतरी अडचणीचा व अवघड ठरला.

१८ व्या शतकाच्या सुरुवातीस एस्. हेल या इंग्रज शास्त्रज्ञाने एक प्रकारची वायु-टाकी शोधली. या उपकरणात एक बकपात्र होते व त्यात वायु तयार होणारे पदार्थ ठेवले जात. तयार होणारा वायु साठविण्यासाठी जे पात्र (चंबु) असे ते बकपात्रापासून वेगळे, पाण्याने भरून व उलटे ठेवले जाई. चंबूत वायु शिरून त्याचे बुडबुडे पाण्यास दूर सारत व अशा प्रकारे चंबु वायुने भरला जाई. मग त्याचा अभ्यास होत असे.

वायविय रसायनशास्त्राचे एक अध्वर्यु इंग्लिश शास्त्रज्ञ जे. ब्लॅक यानीही अशा वायु-टाकीचा काही ज्ञात पदार्थांच्या (उदा. कॅल्शिअम व मॅग्नेशिअम कार्बोनेटे ऊर्फ लाईम आल्बा व मॅग्नेशिआ आल्बा) अभ्यासार्थ वापर केला. ही संयुगे तापविल्यामुळे किंवा आम्लाच्या व त्यांच्या अभिक्रियेतून वायु निर्माण होतो. आता आपणास सहजच अंदाज करता येईल की हा वायु म्हणजेच हल्माँटने लाकूड जाळून जे काष्ठ-चैतन्य मिळविले ते होय. पण

ब्लॅमॉट वस्तुस्थिती प्रस्थापित करण्याच्या पलिकडे गेलाच नाही आणि काही-तरी थातुरमातुर अंदाज बांधून मोकळा झाला. ब्लॅक मात्र त्याच्या खूपच पुढे गेला. त्याने असे पाहिले की तापविण्याऱ्या क्रियेतून किंवा आम्लांबरोबर होणाऱ्या अभिक्रियातून जी संयुगे मिळतात ती पुन्हा मुळच्या स्थितीत रूपांतरीत करता येतात.

हे जे ज्ञान संपादन केले गेले त्याबाबत रसायज्ञाचे भाष्य पुढीलप्रमाणे असेल: (त्या) शास्त्रज्ञाने पुरोगामी अभिक्रिया (कार्बोनेटांचे ऑक्साइड व कार्बन डायॉक्साइड या दोन संयुगात अपघटन) आणि व्युत्क्रमणी अभि-क्रिया (कार्बन डायॉक्साइडचा ऑक्साइडांशी संयोग साधून मूळ पदार्थ मिळ-विणे) केल्या. मूळ पदार्थाचे संपूर्णतया पुनर्स्थापन झाले आणि इतरांना जे जमले नाही, त्यात जे. ब्लॅक यशस्वी झाला.

अशा अभिक्रियेत मिळालेल्या वायूचे (त्यास तो "निबद्ध" किंवा "स्थिर" वायु म्हणतो) त्याने वजन केले. किण्वनक्रियेत किंवा कोळशाच्या ज्वलनात हा वायु मिळाला, पण श्वसनास किंवा ज्वलनास तो सहाय्यक नव्हता. ब्लॅकचे असे मत झाले की हा वायु सभोवतालच्या वातावरणाचा (हवेचा) एक स्वतंत्र घटक असावा. अशा तऱ्हेने १७५४ मध्ये "निषद्ध वायु" या नावाखाली कार्बन डायॉक्साइड शोधला गेला.

पुढील शोधांच्या दृष्टीने ही घटना फार महत्त्वाची ठरते. कारण त्या-बाबत उलटसुलट चर्चा व विधाने-प्रतिविधाने मांडली गेली व अखेर कार्बन डायॉक्साइड हवेपेक्षा वेगळा असून त्यात कित्येक घन पदार्थही असतात असे मानण्याची शास्त्रज्ञांची प्रवृत्ती झाली. तसेच, कार्बन डायॉक्साइड व ऑक्साइडे यांच्या एकत्रित संयोगातून जो पदार्थ तयार होतो त्याचे वस्तुमान, मूळ पदार्थाच्या वस्तुमानापेक्षा अधिक भरत असल्यामुळे फ्लॉजिस्टॉन सिद्धां-ताचा गाभाच उखडला गेला. या वस्तुस्थितीचा सखोल अर्थ ध्यानात येण्यास अर्थातच बराच काळ जावा लागला. तीच गोष्ट फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताबाबत आढळते. वायवीय रसायनशास्त्रातील अनेक निरीक्षणात्मक अनुभव उलगड-णारा हाच एवढा एक सिद्धांत अशी जी समजून होती ती नाहीशी होण्यासही असाच दीर्घकाळ जावा लागला.

हायड्रोजन

आवर्ती पद्धतीतील क्रमांक एकचे आणि सर्व ज्ञात वायूंमध्ये अत्यंत हलके असे हायड्रोजन हे मूलद्रव्य असून साऱ्या मूलद्रव्यांमध्ये अत्याधिक चित्तवेधक आहे. रासायनिक सिद्धांतातील अनेक प्रश्न सुटण्यास या वायूचा शोध लागणे फार जरूरीचे होते. हे एक मूलद्रव्य असे आहे की त्याच्या अणूतील एकुलता एक इलेक्ट्रॉन नाहीसा होताच... निव्वळ प्रोटॉन उरतो म्हणूनच हायड्रोजनचे रसायनशास्त्र मोठे अपूर्व म्हणावे लागते; कारण ते मूलभूत कणाचे रसायनशास्त्र आहे.

अत्यंत वैशिष्ट्यपूर्ण मूलद्रव्यांतील सर्वात वैशिष्टयपूर्ण असे हायड्रोजन हे मूलद्रव्य आहे कारण त्यापासूनच मूलद्रव्यांची नैसर्गिक मालिका सुरू होते (आवर्ती कोष्टकातील लघु आवर्तांमधली मूलद्रव्ये येथे अभिप्रेत आहेत) असे मेंदेलेयेवनी म्हटले होते.

असे हे एवढे मनोरंजक मूलद्रव्य केवढ्या सुलभतेने उपलब्ध आहे - कोणत्याही प्रयोगशाळेत जा आणि जस्ताच्या तुकड्यांवर थोडेसे हायड्रोक्लोरिक आम्ल शिंपडा, ताबडतोब हायड्रोजन तयार होईल.

गतकाळात ज्यावेळी रसायनशास्त्र हे शास्त्र म्हणून ओळखले जात नव्हते आणि परिसासाठी लोक वेड्यासारखे इतस्ततः धावपळ करीत होते अशा काळातही हायड्रोक्लोरिक, सल्फ्यूरिक (गंधकाम्ल) आणि नायट्रिक आम्ल तसेच जस्त आणि लोखंड यांची लोकांना माहिती होती. म्हणजेच हायड्रोजन तयार करण्याच्या अभिक्रियेसाठी ज्याची जरूरी होती ते सारे उपलब्ध होते. केवळ निमित्तमात्र संधी मिळणेच काय ते बाकी होते. गंमतीचा प्रकार असा की १६-१८ व्या शतकांतील लिखाणात अशा अभिक्रियांमधून – उदा. लोखंडी तुकड्यांवर सल्फ्यूरिक आम्ल टाकल्यामुळे – वायूंचे बुडबुडे आल्यांच्या अनेक नोंदी आढळतात. रसायनशास्त्र मात्र त्यास जळणाऱ्या हवेचा एक प्रकार एवढेच समजत होते.

हवेचा हा रहस्यमय प्रकार ज्यांनी ज्यांनी पाहिला त्यापैकी प्रसिद्ध रशियन शास्त्रज्ञ एम्. व्ही. लोमोनोसोव हे एक होते. १७४५ मध्ये त्यांनी "धातुसदृश चमक" या नावाखाली एक प्रबंध लिहिला. त्यात ते म्हणतात "काही धातु, विशेषतः लोखंड आम्लधर्मी अल्कोहोलमध्ये टाकले असता चंबूतून ज्वलनशील वाफ (वायु) बाहेर पडते..." (या काळी आम्लांना

आम्लधर्मी अल्कोहोल म्हणण्याचा प्रघात होता). लोमोनोसोव यांनी हायड्रोजन वायूचेच निरीक्षण केले यात शंका नाही. पण पुढे ते म्हणतात, "...तो फ्लॉजिस्टॉन असावा." आम्लामध्ये धातु विरघळून ज्वलनशील पदार्थ ऊर्फ "ज्वलनशील वाफ" निर्माण होत असल्यामुळे धातु विरघळण्यातून फ्लॉजिस्टॉन वेगळा होतो असे समजणे फारच सोयीचे होते, सारे काही फ्लॉजिस्टॉन विचारानुरूप चपखल बसत होते.

अशा परिस्थितीत जर कोणाची आठवण करावयाची तर ती सुप्रसिद्ध व श्रेष्ठ इंग्रज शास्त्रज्ञ एच्. कॅव्हेंडिश यांचीच. विज्ञानाला वाहून घेतलेल्या या शास्त्रज्ञाची एक उत्कृष्ठरित्या प्रयोग करणारा म्हणूनही कीर्ती होती. आपले प्रायोगिक निष्कर्ष लोकांसमोर मांडण्याची त्यांनी कधीच घाई केली नाही, एवढेच नव्हे तर त्यांचे लेख अवतीर्ण होण्यापूर्वी कित्येक वर्षे जात. यामुळेच, "ज्वलनशील हवे"चे त्यांनी केव्हा निरीक्षण केले व त्यावर लेखन केव्हा केले याची निश्चित तारीख सांगता येत नाही. एवढे मात्र निश्चितपणे माहीत आहे की त्यांचे हे काम १७६६ मध्ये "कृत्रिम हवेसंबंधी प्रयोग" या नावाखाली प्रसिद्ध झाले आणि तो वायवीय रसायनशास्त्रांतर्गत संशोधनाचा एक भाग होता. असेही शक्य आहे की जे. ब्लॅक यांच्या कार्यामुळे प्रभावित होऊन हे काम कॅव्हेंडिश यांनी हाती घेतले असावे. एवढे खरे की निबद्ध अथवा स्थिर हवेसंबंधी त्यांना गोडी वाटू लागली आणि हवेचे तसेच काही आणखी कृत्रिम प्रकार अस्तित्वात असतील काय हे पाहण्याचे त्यांनी ठरविले. अशा प्रकारे निरनिराळ्या संयुगांमध्ये निबद्धावस्थेत असलेल्या तसेच या संयुगांपासून कृत्रिमपणे अलग करता येणाऱ्या हवेबद्दल त्यांचे विचारचक्र चालू राहिले. ज्वालाग्राही हवेचे अनेक वेळा अवलोकन झाले आहे याची कॅव्हेंडिशना कल्पना होतीच व त्यांनीसुद्धा त्यावेळी प्रचलित असणाऱ्या पद्धतीनेच म्हणजे लोह, जस्त अथवा कथिलावर हायड्रोक्लोरिक किंवा सल्फ्युरिक आम्ल टाकून तो तयारही केला होता. पण या सर्व प्रक्रियांमधून एकाच प्रकारची हवा – ज्वालाग्राही हवा – मिळते हे सिद्ध करणारे मात्र ते पहिलेच शास्त्रज्ञ ठरले. ज्वालाग्राही हवेच्या वैशिष्ट्यपूर्ण गुणधर्मांचे अवलोकनही सर्वप्रथम त्यांनीच केले. ते स्वत: फ्लॉजिस्टॉन विचारप्रणालीचे पुरस्कर्ते असल्यामुळे या हवेचे निदान करण्यास त्याना एकच मार्ग मोकळा होता. म्हणूनच लोमोनोसोवप्रमाणे त्यांनी या हवेस फ्लॉजिस्टॉन हेच नाव दिले. त्यांना खात्री होती की ज्वालाग्राही हवेचा अभ्यास म्हणजे फ्लॉजिस्टॉनचाच

अभ्यास व तोच आपण करीत आहोत. कॅव्हेंडिशनी असे मत मांडले की निरनिराळ्या धातूंमध्ये या ज्वालाग्राही हवेचे प्रमाण भिन्नभिन्न असते. अशाप्रकारे जे. ब्लॅक यांच्या "स्थिर हवे"त कॅव्हेंडिश यांच्या "ज्वालाग्राही-हवे"ची आणखी एक भर पडली. खरे सांगावयाचे म्हणजे दोघाही शास्त्रज्ञांनी नवीन असे काहीच शोधले नाही, प्रत्येकाने पूर्वीचीच माहिती साररूपाने सांगितली एवढेच. पण त्यामुळेही मानवी ज्ञानाच्या कक्षा रूंदावल्या हे विसरता येणार नाही.

"स्थिर हवा" व "ज्वालाग्राही हवा" एकमेकींपासून वेगळ्या तर होत्याच शिवाय नेहमीच्या सर्वसामान्य हवेपासून भिन्न होत्या. ज्वालाग्राही हवा आश्चर्य वाटण्याएवढी हलकी होती तर कॅव्हेंडिश यांनी अलग केलेले फ्लॉजिस्टॉन मात्र वजनदार होते. वायूंची वैशिष्टये ठरविण्यासाठी घनता हे मानक सर्वप्रथम त्यांनीच वापरले. हवेची घनता एक मानून ज्वालाग्राही हवेची व स्थिर हवेची घनता अनुक्रमे ०.०९ व १.५७ ठरविली गेली. नेमके याच ठिकाणी, प्रयोग करून निष्कर्ष काढणारे कॅव्हेंडिश आणि फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताला पाठिंबा देणारे कॅव्हेंडिश यांचे विसंगत चित्र उभे राहते. ज्वालाग्राही हवेस प्रत्यक्षात वजन असल्याचे ठरविल्यामळे त्यास शुद्ध फ्लॉजिस्टॉन म्हणताच येणार नाही. अन्यथा ज्या धातूंपासून ते वेगळे होते त्यांचे वजन कमी होणे क्रमप्राप्त ठरते. ही विसंगती टाळण्यासाठी कॅव्हेंडिशनी एक मूलभूत गृहित धरले, ते असे की ज्वालाग्राही हवेत फ्लॉजिस्टॉन व पाणी यांचे मिश्रण असते. या विचाराचा परिपाक म्हणजे ज्वालाग्राही हवेचा घटक म्हणून हायड्रोजनची गणना होऊ लागली.

यावरून निकष हाच निघतो की कॅव्हेंडिशनी जरी हवेचे वजन केले, त्याच्या गुणधर्मांचा अभ्यास केला आणि कृत्रिम हवेचा एक स्वतंत्र प्रकार मानला तरी त्यांनाही त्यांच्या पूर्वीच्या शास्त्रज्ञांप्रमाणेच ज्वालाग्राही हवेचे नेमके स्वरूप काही उमगले नाही! थोडक्यात, वस्तुस्थिती माहीत नसल्यामुळे एखाद्या नव्या मूलद्रव्याचा त्यांनी जसा अभ्यास केला असता तसाच त्यांनी स्वतः मिळविलेल्या "फ्लॉजिस्टॉन"चा केला. अखेरपर्यंत त्यांना कल्पना आली नाही की ज्वलनशील हवा म्हणजे खरोखरीच एक मूलद्रव्य असावे. फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताची केवढी जबरदस्त पकड होती हे यावरून दिसून येते. ज्वालाग्राही हवेचे प्रत्यक्ष गुणधर्म या सिद्धांताविरुद्ध जात अस-

त्याचे पाहताच त्यांनी नवीन गृहितक मांडले, पण ते फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांता-एवढेच चुकीचे !

म्हणूनच, "इंग्लिश शास्त्रज्ञ एच्. कॅव्हेंडिश यानी इ. स. १७६६ मध्ये हायड्रोजनचा शोध लावला," हे विधान अगदी अर्थहीन आहे. कॅव्हेंडिश यांनी ज्वलनशील वायु तयार करण्याचे तंत्र निश्चितच अधिक काटेकोरपणे मांडले आणि आपल्या या लोकांपेक्षा या ज्वलनशील वायूचे गुणधर्मही खूपच बारकाईने सांगितले. पण "आपण काय करतो आहोत हे त्यांना माहीत नव्हते." या ज्वलनशील वायूचे अगदी प्राथमिक स्वरूप लक्षात येणे त्यांच्या कुवतीबाहेरचे ठरले. पण हा काही त्या शास्त्रज्ञाचा दोष खचितच म्हणता येणार नाही, कारण एवढी विचक्षक दृष्टी असण्याइतपत रसायनशास्त्र मुळी प्रगल्भच झाले नव्हते. हायड्रोजन हा हायड्रोजन ठरण्यास अनेक वर्षे जावी लागली आणि सरतेशेवटी रसायनशास्त्रात त्याने योग्य जागा मिळविली.

लॅटिन भाषेत हायड्रोजेनिअम असा शब्द असून तो ग्रीक भाषेतील "हायडर" व "जेनॅओ" यापासून तयार झाला आहे. "पाणी तयार करणारा" असा त्याचा अर्थ होतो. पाण्याचे घटक निश्चित केले गेले आणि मग इ. स. १७७९ मध्ये ए. लव्हॉसिएने हायड्रोजन हा शब्द सुचविला. या मूलद्रव्यासाठी H हे चिन्ह जे. बेर्झेलिअने सुचविले.

हायड्रोजन हे एक अपूर्व मूलद्रव्य समजले जाते ते अशासाठी की त्याच्या समस्थानिकांचे भौतिक व रासायनिक गुणधर्म भिन्न स्वरूपाचे आढळतात. या भिन्न गुणधर्मांमुळे या समस्थानिकांना वेगवेगळी मूलद्रव्ये समजण्याकडे आणि आवर्ती सारणीत त्यांना स्वतंत्र "खोल्या" देण्याकडे काही शास्त्रज्ञांचा कल होता. म्हणूनच या समस्थानिकांच्या शोधाचा खास इतिहास आहे खरा, पण ते खुद्द हायड्रोजनच्या इतिहासातील एक प्रकरण समजले पाहिजे.

हायड्रोजनच्या समस्थानिकांचा शोध घेण्यास या शतकाच्या दुसऱ्या दशकात सुरुवात झाली. पण हे सर्व प्रयत्न निष्फळ ठरल्यामुळे असे समस्थानिक अस्तित्वातच नाहीत असे मानण्याकडे शास्त्रज्ञ झुकले. तरीसुद्धा १९३१ मध्ये हायड्रोजनचा वस्तुता क्रमांक २ हा वजनदार समस्थानिक सुचविला गेला. हा समस्थानिक वजनात हायड्रोजनपेक्षा दुप्पट असावयासच हवा, त्या-अर्थी तो भौतिक पद्धतींनुसार वेगळा करता येईल काय याचा शास्त्रज्ञ मागोवा घेऊ लागले. १९३२ मध्ये युरे, ब्रिक्वेड व मर्फी या अमेरिकन शास्त्रज्ञांनी

द्रवरूप हायड्रोजनचे बाष्पीभवन केले व त्यातून मिळालेला अवशेष वर्णपट-दर्शकातून तपासला. या प्रयत्नातून शास्त्रज्ञांना एक वजनदार समस्थानीय मिळालाही. हवेमध्ये तो आढळण्यास मात्र १९४१ साल उजाडावे लागले. त्यास ड्युटेरिअम हे जे नाव मिळाले ते ग्रीक भाषेतील "दुसरा, आणखी एक" अशा अर्थी असणाऱ्या "ड्युटेरॉस" या शब्दापासून. त्यापुढील वस्तुता क्रमांक ३ असलेला समस्थानीय – ट्रिटिअम [ट्रिटॉस (ग्रीक शब्द)-तिसरा] – किरणोत्सारी आहे. एम्. ऑलिफंट, पी. हार्टेक व इ. रूदरफोर्ड यांनी १९३४ मध्ये त्याचा शोध लावला. मुख्य हायड्रोजन समस्थानिकास प्रोटिअम असे नाव देण्यात आले. एकाच मूलद्रव्याच्या समस्थानिकाना वेगवेगळी नावे आणि चिन्हे (H,D आणि T) दिले गेल्याचे एवढे एकच उदाहरण आहे. एकूण साऱ्या हायड्रोजनपैकी ९९.९९ टक्के भाग प्रोटिअमचाच असतो आणि उर्वरित भाग बहुतांश ड्युटेरिअम व नाममात्र ट्रिटियम मिळून असतो.

नायट्रोजन

स्थिर हवा (कार्बन डायॉक्साइड) आणि ज्वालाग्राही हवा कालांतराने पृथ्वीच्या वातावरणात आढळली खरी, पण त्यांचे शोध काही वातावरणीय हवेच्या अभ्यासातून लागलेले नाहीत. पृथ्वीच्या वातावरणास – हवेस – एक अभिजात प्रकारच समजला जाई आणि ती वेगवेगळ्या वायूंच्या मिश्रणातून बनली आहे याची कोणालाच कल्पना नव्हती. या वातावरणीय हवेचा अभ्यास झाला आणि त्यामुळेच तर वायवीय रसायनशास्त्रास अत्यंत महत्त्वपूर्ण निष्कर्ष काढता आले.

वातावरणाच्या अभ्यासामुळे नायट्रोजनचा शोध लागला. हा शोध कोण-त्यातरी शास्त्रज्ञाच्या नावाशी आणि तारखेशी निगडित असला तरी ही माहिती फसवी आहे. खरा प्रकार असा आहे की वायवीय रसायनशास्त्राच्या मुख्य प्रवाहापासून नायट्रोजनच्या शोधाचा इतिहास वेगळा, स्वतंत्र दाखविणे फार अवघड आहे. फार तर त्यातील घटनांचा तर्कशुद्ध क्रम लावणे शक्य आहे.

प्राचीन ऐतिहासिक काळापासूनच सॉल्टपीटर आणि नायट्रिक आम्ला-सारख्या नायट्रोजन संयुगांशी माणसाचा संबंध आला. मधूनमधून त्यातून

तपकिरी रंगाच्या वाफा बाहेर पडतानाही त्याच्या नजरेस येत असत. पण नायट्रोजन संयुगांचे अपघटन करून खुद्द नायट्रोजन वायु मिळविणे ("शोधणे") हे मात्र त्यावेळी कल्पनेपलिकडचे होते. रंग, वास आणि चव नसणारा तसेच रासायनिकदृष्टया निष्क्रिय असा हा वायु कोणाच्याच लक्षात न येता दुर्लक्षित राहिला.

यासाठीच त्याच्या शोधाची कथा कुठून सुरू करावी हे सांगणे अवघड जाते. या बाबतीत आमची निवड व्यक्तीगत वाटेल, पण आम्ही १७७६ वर्षापासून सुरुवात करतो. त्यावेळी एच्. कॅव्हेंडिश आणि जे. प्रिस्ट्ले नामक दुसरा एक अत्यंत बुद्धिमान इंग्रज रसायज्ञ व तत्त्वज्ञ अशा दोघांनी, निरनिराळया वायूंमध्ये विद्युत्‌विमोचनाचे कोणते परिणाम घडून येतात याचा अभ्यास करण्यास सुरुवात केली. त्यावेळी ज्ञात असे तीनच "वायु" होते व ते म्हणजे नेहमीची साधीसुधी हवा, "स्थिर" हवा आणि "ज्वलनशील" हवा. या प्रयोगांमधून निष्पन्न असे काहीच झाले नाही पण पुढे दाखविले गेले की दमट हवेतून वीजप्रवाह सोडला असता नायट्रिक आम्ल मिळते. पुढे पृथ्वीच्या वातावरणाचे विश्लेषण करतेवेळी ही वस्तुस्थिती उपयोगास आली.

पुढे १७७७ मध्ये कॅव्हेंडिश यांनी एका खाजगी पत्रात प्रिस्ट्ले यांना कळविले की आपण हवेचा एक नवा प्रकार तयार केला असून त्यास गुदमरविणारी (विषारी) हवा असे नाव दिले आहे. ती तयार करताना कॅव्हेंडिशनी तप्त कोळशावरून नेहमीची हवा पुन:पुन्हा नेली आणि त्यातून मिळणारी 'स्थिर' हवा अल्कद्रव्यामार्फत शोषून घेतली, यातून उरणारा भाग म्हणजेच गुदमरविणारी हवा होय. कॅव्हेंडिशनी या बाबतीत काही सखोल अभ्यास वगैरे केला होता असे काही नसून जे काही आढळले ते प्रिस्ट्लेस कळवून मोकळे झाले. पुढे बऱ्याच काळानंतर या गुदमरविणाऱ्या वायूचा कॅव्हेंडिशनी परत अभ्यास सुरू केला आणि बरेच श्रम घेतले, पण त्या गुदमरविणाऱ्या उर्फ नायट्रोजन वायूच्या शोधाचे अखेर श्रेय मात्र दुसऱ्याच शास्त्रज्ञाकडे गेले.

कॅव्हेंडिशचे पत्र प्रिस्टलेला जेव्हा मिळाले तेव्हा तो काही महत्त्वाच्या प्रयोगांमध्ये गुंतला होता. साहजिकच त्याने पत्राकडे फारसे लक्ष दिले नाही. प्रिस्टलेने ठराविक आकारमानाच्या आणि निस्तापित धातूंच्या सन्निध्यात अनेक ज्वालाग्राही पदार्थ जाळले. त्यामध्ये जी स्थिर हवा मिळाली ती

चुन्याच्या निवळीच्या सहाय्याने वेगळी केली. या साऱ्या कामात एक महत्त्वाची गोष्ट त्याने जाणली ती ही की हवेच्या आकारमानात बऱ्याच प्रमाणात घट होते. यावरून वाचकांच्या सहजच लक्षात येईल की धातूंच्या भाजण्यामुळे किंवा निरनिराळी संयुगे जाळण्यामुळे उपकरणातील ऑक्सिजन त्यांच्याशी संयोग पावतो (निबद्ध पावतो) आणि नायट्रोजन उरतो. प्रिस्टलेच्या प्रयोगात हेच घडत होते, तथापि प्रिस्टलेस मुळी कल्पनाच नव्हती की ऑक्सिजन म्हणून काही वायु अस्तित्वात असतो (पुढे दोन वर्षांनी मात्र या वायूचा एक संशोधक म्हणून त्याचे नाव झाले). या अज्ञानामुळे, आपल्या प्रयोगांमध्ये जे जे काही पाहण्यात आले त्याचा खुलासा करण्यासाठी प्रिस्टलेने फ्लॉजिस्टॉनचा आधार घेतला! प्रिस्टलेची ठाम समजूत अशी होती की धातूंच्या भाजण्याच्या क्रियेचा जो काही परिणाम आढळतो तो केवळ फ्लॉजिस्टॉनच्याच क्रियेमुळे घडतो. जी काही हवा उरते ती फ्लॉजिस्टॉनमुळे संपृक्त होते, त्यामुळे तीस "फ्लॉजिस्टॉनमय हवा" असे ओघानेच म्हणता येते; अशी हवा श्वसनास आणि ज्वलनासही उपयोगी पडत नाही.

यावरून प्रिस्टलेला, पुढे नावारूपास आलेला नायट्रोजन हा वायु निश्चित मिळाला होता असे निःसंशय म्हणता येते. खरे तर हा फार महत्त्वाचा निष्कर्ष होता, पण प्रिस्टलेने त्याकडे तेवढ्या गांभिर्याने पाहिलेच नाही. फ्लॉजिस्टॉनमय हवेचे अस्तित्व हे प्रिस्टलेच्या दृष्टीने सबळ कारण असल्यामुळे नैसर्गिक कार्यपरंपरेत फ्लॉजिस्टॉनचा हात असणारच ही वस्तुस्थिती ठरत होती. या साऱ्या हकिगतीतून पुन्हा एकदा प्रकर्षाने हेच पहावयास मिळते की वायुरूप मूलद्रव्यांच्या शोधात धादांत चुकीच्या अशा फ्लॉजिस्टिय विचारप्रणालीमुळे सतत कसा अडथळा येत होता.

एकंदरीत, प्रिस्टले व कॅव्हेंडिश यापैकी कोणालाच या नव्या वायूचे खरे स्वरूप समजलेच नाही. पुढे जेव्हा रसायनशास्त्राच्या क्षितिजावर ऑक्सिजन अवतीर्ण झाला त्यानंतर कुठे हे स्वरूप स्पष्ट झाले. जे. ब्लॅक यांचे शिष्य समजले गेलेले इंग्रज भौतिकशास्त्रज्ञ डी. रूदरफोर्ड यांना नायट्रोजनच्या शोधाचे श्रेय दिले जाते खरे पण तात्त्विकदृष्ट्या त्यांनी आपल्या प्रसिद्ध अशा सहकाऱ्यांपेक्षा नवे असे काहीही केले नव्हते. १७७२ च्या सप्टेंबरमध्ये त्यांनी "तथाकथित स्थिर हवा अणि गुदमरविणारी हवा" नामक एक मोठा विद्वत्जड प्रबंध लिहिला. त्यामध्ये त्यांनी नायट्रोजनचे गुणधर्म

विशद करून हा वायु चुन्याच्या निवळीमार्फत किंवा अल्कपदार्थांमार्फत शोषिला जात नाही आणि तो श्वसनासही उपयोगी नाही, असे म्हटले. रूदरफोर्डनी या वायूस "कुजट" किंवा "अशुद्ध वायु" असे नाव दिले.

जो वायु १८ व्या शतकाच्या सत्तरीत एक वायुरूप रासायनिक मूलद्रव्य म्हणून पुरेसा संशोधिला गेला नव्हता किंवा नीटसा समजलाही नव्हता त्यास तीन तीन नावे मिळून अगोदरच अर्धवट ज्ञान असणाऱ्या रासायनिक कल्पनांमध्ये त्यायोगे गोंधळाची भरच पडली. त्यास पुन्हा फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताच्या प्रभावामुळे मदतच होत होती. "फ्लॉजिस्टॉनमय", "गुदमरविणारी" आणि "कुजट" किंवा "अशुद्ध" ही तीन नावे असणाऱ्या वायुप्रकारास निश्चित असे नाव मिळावयाचे बाकीच होते.

पुढे १७८७ मध्ये ए. लव्हासिए व इतर शास्त्रज्ञांनी एक नवे रासायनिक नामकरण अथवा परिभाषेची तत्त्वे प्रस्थापित केली आणि तदनंतर या वायूचे नाव सुचविण्यात आले. त्यांनी "अ-झोत" (ग्रीक अ – या उपसर्गाचा अर्थ नकारार्थी आणि झोट – झू – म्हणजे जीवन, म्हणजेच जीवन-विरहित) असा शब्द तयार केला. थोडक्यात, ज्वलनास व श्वसनास मदत न करणारा अशा प्रकारचा वायु हा त्याचा गुणधर्म रसायज्ञांनी ध्यानात घेतला. पुढे हा दृष्टिकोन चुकीचा ठरला कारण वनस्पतीजीवनास नायट्रोजनचे जीवनदायी महत्त्व आहे असे ध्यानात आले. "अ-झोत" हे नाव तरीसुद्धा कायम राहिले. या मूलद्रव्याचे N हे चिन्ह नायट्रोजेनिअम या लॅटिन शब्दावरून तयार झाले असून "सॉल्टपीटर (सोरा) तयार करणारे" असा त्याचा अर्थ होतो.

एच्. कॅव्हेंडिशनी नायट्रोजनच्या गुणधर्मांचा सखोल अभ्यास केला. फ्लॉजिस्टॉनमय हवा हा नेहमीच्या साध्यासुध्या हवेचाच (वातावरणाचाच) एक घटक होय यावर विश्वास ठेवणाऱ्या पहिल्या शास्त्रज्ञांपैकी तो एक होता. आपले प्रयोग करण्याच्या कार्यात एकदा त्यांना फ्लॉजिस्टॉनमय हवेच्या एकजिनसीपणाबद्दल अथवा गुणधर्मांच्या एकसंधीपणाबद्दल शंका निर्माण झाली. ऑक्सिजनमिश्रित हवेमधून त्यांनी विद्युत-स्फुल्लिंग (विद्युत्प्रज्योत) सोडला व त्यामुळे सारा ऑक्सिजन नायट्रोजन ऑक्साइडमध्ये रूपांतरित झाला. पण प्रत्येक वेळेस फ्लॉजिस्टॉनमय हवेचा अल्पसा अंश (नायट्रोजनचा अंश) ऑक्सिजनबरोबर संयोग न पावता अबाधित राहे. हा अंश अगदीच अल्पसा व सहसा ध्यानात न येणाऱ्या बुडबुड्याच्या स्वरूपात – प्रयोगार्थ

घेतल्या जाणाऱ्या एकूण नायट्रोजनच्या केवळ १/१२५ एवढा असे. १७८५ मध्ये ध्यानी आलेल्या या आविष्कारामागे कारण काय, हे काही कॅव्हेंडिशना सांगता आले नाही. पुढे ते शंभरएक वर्षांनी ध्यानात आले. ज्या प्रकरण ९ मध्ये अक्रियाशील वायूंची माहिती आली आहे त्यात या संबंधी अधिक माहिती वाचावयास मिळेल.

ऑक्सिजन

रसायनशास्त्राच्या विकासात ऑक्सिजनएवढी महत्त्वाची भूमिका कोणत्याच रासायनिक मूलद्रव्यामार्फत बजावली गेली नाही असे निःसकोचपणे म्हणता येईल. या जीवनदायी वायूमुळे १८ व्या शतकाच्या अखेरीस रसायनशास्त्राने जी विलक्षण प्रगती केली ती पूर्वी कधीच शक्य झाली नव्हती. सर्वात महत्त्वाची गोष्ट घडली ती ही की बराच काळ घट्टपणे रुजलेल्या व नाहीसा करण्यास जणू अशक्य ठरलेल्या फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताची ऑक्सिजनमुळे कायमची उचलबांगडी झाली. हा सिद्धांत चुकीचा होता खरा पण त्यास काही ऐतिहासिक उपयुक्तता प्राप्त झाली होती हे नाकारता येणार नाही. या विचारप्रणालीमुळे त्यावेळेपुरत्या तरी अस्तित्वात असणाऱ्या व येणाऱ्या रासायनिक संकल्पनांना काही पद्धतशीरपणा, सुसूत्रता लाभली होती आणि निसर्गातील तसेच प्रयोगशाळेतील अनेकविध प्रक्रिया एका समान व्यासपीठावरून (जरी ते चुकीचे असे तरीही) जोखल्या जात होत्या. यामुळे नाही तरी संशोधनकाम हेतूप्रधान ठरत गेले. फ्लॉजिस्टीय कल्पनेमधूनच हायड्रोजन व नायट्रोजन यांना चालना मिळाली, पण या "हवेच्या प्रकारांच्या" अभ्यासातूनच नव्या नव्या सत्कल्पना जमत गेल्या आणि त्यांच्या स्पष्टीकरणार्थ नवा दृष्टीकोन स्वीकारला पाहिजे याची निकडही निर्माण झाली. थोडक्यात, खुद्द रसायनशास्त्राच्या तोंडवळयास आकर्षक स्वरूप हवे होते आणि ऑक्सिजनने ते पुरविण्यास मदत केली!

फ्लॉजिस्टॉन विचाराकडे लक्ष न देता ढोबळपणे उलटसुलट गोष्टी वारंवार सांगण्यात येत होत्या की ज्वलनशील संयुगांचे ज्वलन आणि धातूंचे निस्तापन या क्रियांमध्ये त्यांच्यामार्फत हवेतील एक "पदार्थ" वेगळा केला जातो किंवा नाहीसा केला जातो (खरे तर संयोगित होतो!) १६७३ मध्ये रॉबर्ट बॉईलने असा निष्कर्ष काढला की शिसे किंवा अँटिमनी भाजले असता एक अत्यंत सूक्ष्मस्वरूपी "ज्वलनशील पदार्थ" धातूंमध्ये मिसळतो, त्यांच्याशी

एकरूप होतो व वजनात भर पडते. "...माननीय बॉईलमहाशयांचे हे मत अगदी चुकीचे आहे", पुढे ६ वर्षांनी लोमोनोसोव यांनी लिहिले. या प्रसिद्ध रशियन शास्त्रज्ञाने म्हटले आहे की ज्वलनात हवा भाग घेते आणि जे संयुग भाजले (किंवा जाळले) जाते त्यामध्ये हवेतील कण मिसळले जातात, परिणामी वजन वाढते.

वायवीय रसायनशास्त्र मूळ धरत असतेवेळी पी. बेयन या फ्रेंच रसायज्ञाने १७७४ मध्ये एक निबंध लिहून त्यामध्ये धातूंच्या निस्तापन क्रियेच्या वेळी त्यांच्या वजनात का वाढ होते याची कारणमीमांसा केली. त्याने असा विश्वास व्यक्त केला की कोणतीतरी एक खास प्रकारची आणि प्रसरणशील द्रवरूप वस्तु, जी नेहमीच्या सर्वसाधारण हवेपेक्षा वजनदार असते, ती निस्तापनक्रियेच्या वेळी धातूंमध्ये मिसळली जाते. बेयनने पारदसंयुगांचे औष्णिक विघटन करून हा द्रवपदार्थ मिळविला आणि त्याउलट, धातुरूप पाऱ्यावर या द्रवपदार्थाची प्रक्रिया होऊन पाऱ्यांचे त्यामार्फत ताम्रवर्णी संयुगात रूपांतर केले गेले.

बेयनने निव्वळ वस्तुस्थिती दाखवून दिली, पण त्याने त्याचा पुढे मागोवा घेतला नाही हे दुर्दैव म्हटले पाहिजे. तथापि, पुढे ओघातच तुमच्या ध्यानात येईल की हा शास्त्रज्ञ प्रत्यक्षात ऑक्सिजनशीच हे प्रयोग करीत होता. या संबंधात दोन गोष्टी ध्यानात ध्या. एक म्हणजे १७७४ ही वेळ आणि बेयनने जे संयुग – रेड मर्क्युरी ऑक्साइड – निरीक्षिले ते. याच वर्षात आणि याच संयुगाबाबत जे. प्रीस्टलेने प्रयोग केले होते. त्याच्या थोड्याच आधी त्याने असे शोधले होते की स्थिर हवेचे – जी श्वसनक्रियेस उपयुक्त नसते – हरित वनस्पतींच्या सन्निध्यात साध्यासुध्या नेहमीच्या हवेत रूपांतर होते व त्यानंतर मात्र ती सजीवांच्या श्वसनक्रियेस उपयुक्त ठरते. ही वस्तुस्थिती निव्वळ रसायनशास्त्रापुरतीच अत्यंत महत्त्वाची नसून सजीवांबाबत म्हणजे जीवशास्त्राच्या दृष्टीनेही नितांत महत्त्वपूर्ण ठरली. प्रिस्टलेने सर्वप्रथम प्रस्थापित केले की वनस्पती ऑक्सिजन मुक्त करतात.

१७७० च्या अलिकडच्या काळात तथाकथित सॉल्टपीटर वायु माहीत झालेलाच होता. सौम्य नायट्रिक आम्लाच्या लोखंडी किसावर होणाऱ्या प्रक्रियेतून तो बाहेर पडत असे (आधुनिक भाषेत त्यास नायट्रोजन ऑक्साइड म्हणतात). असेही अवलोकनात आले की सॉल्टपीटर वायूचे (त्याच्या लोखंडी चुऱ्याशी होणाऱ्या प्रक्रियेतून) हवेच्या आणखी एका प्रकारात रूपांतर होते व हा

प्रकार ज्वलनास मदत करणारा, पण श्वसनास निरूपयोगी असतो. अशा-प्रकारे प्रिस्टले याने नायट्रोजन ऑक्साइडचा आणखी एक प्रकार N_2O शोधला आणि फ्लॉजिस्टिय विचारांशी सुसंगत असे, "फ्लॉजिस्टॉनविरहित केला गेलेला सॉल्टपीटर वायु" हे नाव त्यास दिले.

१ ऑगस्ट १७७४ हा दिवस रसायनशास्त्राच्या इतिहासात जरी महत्त्वाचा टप्पा ठरणारा होता तरी प्रिस्टलेच्या बाबतीत तो दैनंदिन कामाचाच, नेहमीसारखाच एक सामान्य दिवस होता. एका सीलबंद भांड्यात त्याने ताम्रवर्णी मर्क्युरी ऑक्साइड ठेवून त्यावर भल्या मोठ्या भिंगाच्या सहाय्याने सूर्यकिरण पाडले. उष्णतेमुळे भांड्यातील संयुग विघटित होण्यास सुरुवात झाली आणि क्रमाक्रमाने त्याचे शुभ्र, चकचकित पाऱ्यात आणि एका वायूत रूपांतर झाले (कित्येक वर्षांनी या वायूस "ऑक्सिजन" हे नाव मिळावयाचे होते व ते तिसरे वायुरूप मूलद्रव्य म्हणून सर्वज्ञात होणार होते). नायट्रोजनप्रमाणे ऑक्सिजनचा शोध काही तो हवेपासून (वातावरणापासून) वेगळा करून लागला नाही. हवेचा हा नवा प्रकार घन पदार्थापासून मिळविण्यात आला. प्रिस्टलेने शोधलेला हा वायु श्वसनक्रियेत योग्य ठरला आणि त्यामध्ये जाळलेली मेणबत्ती, नेहमीच्या साध्या हवेपेक्षा कितीतरी तेजस्वीपणे जळली. नेहमीच्या हवेत तो मिसळल्याने काहीच खास असा बदल दृष्टोत्पत्तीस आला नाही, पण सॉल्टपीटरबरोबर मिसळला असता मात्र त्यायोगे तपकिरी वाफा (त्या आज NO पासून तयार होणाऱ्या NO_2 म्हणून ज्ञात आहेत) तयार झाल्या. हे असेच चित्र, पण प्रकर्षाने मात्र मुळीच नव्हे असे चित्र, साध्यासुध्या हवेशी सॉल्टपीटर मिश्रित झाल्यामुळेही पहावयास मिळाले. याबाबतीत प्रिस्टले एवढेच फक्त म्हणू शकला: "नवा वायु हा हवेचा एक घटक आहे." पण तसे लगेचच मान्य करण्यास तो राजी नव्हता आणि हवेच्या त्या नव्या प्रकारास "फ्लॉजिस्टॉन विरहित" हवा म्हणून तो मोकळा झाला. फ्लॉजिस्टॉन विचारप्रणालीच्या अनुयायाकडून दुसरे तरी काय अपेक्षित असणार?

या शोधानंतर—आणि ऑक्सिजनच्या इतिहासातील ती एक महत्त्वाची घटना आहे—प्रिस्टले पॅरिसला गेला आणि तेथे लव्हॉसिए व इतर काही शास्त्रज्ञांना आपल्या प्रयोगांची त्याने माहिती दिली. आपल्या या इंग्रज सहकाऱ्याच्या प्रयोगांचे महत्त्व लव्हॉसिएला ताबडतोब पटले, शिवाय प्रिस्टले-पेक्षा त्याच्या विचारांची बैठक अधिक सुस्पष्टही होती. प्रिस्टले मात्र चांग-

जात दिशाभूल अवस्थेत होता व तो पुनःपुन्हा "फ्लॉजिस्टॉनविरहित हवे"-बद्दल बोलत होता. (फ्लॉजिस्टॉन विचाराच्या दृढ परिणामाचे हे आणखी एक उदाहरण!) स्वत: लावलेल्या शोधाचे महत्त्व प्रिस्टले जाणूच शकला नाही, उलट फ्लॉजिस्टॉनविरहित हवा म्हणजे न उलगडणारा एक गुंतागुंतीचा प्रकार या जाळ्यात पुरता अडकून राहिला! पुढेपुढे मात्र लव्हॉसिएच्या कल्पनांनी तो प्रभावित होत गेला आणि अखेर १७८६ मध्ये या वायुकडे ऊर्फ ऑक्सिजनकडे एक मूलद्रव्यात्मक वायु म्हणून पाहण्याचा त्याचा कल बनत गेला.

म्हणजेच, ऑक्सिजनच्या शोधाचे श्रेय पी. बेयन आणि जे. प्रिस्टले या दोघांकडे जाते. तथापि अजून एक नाव विसरून चालणार नाही ते म्हणजे सी. शील या सुप्रसिद्ध स्वीडिश रसायनज्ञाचे! "हवा आणि अग्नी यावरील रासायनिक प्रबंध" हा आपला ग्रंथ शीलने प्रसिद्ध केला आणि शास्त्रीय विद्वत्जगतात शीलचे नाव सर्वतोमुखी झाले. वास्तविक शीलने आपला ग्रंथ १७७५ मध्येच लिहिला खरा पण तो प्रसिद्ध झाला तब्बल दोन वर्षांनी आणि त्यास केवळ प्रकाशकासच दोषी धरले पाहिजे. अगदी १७७२ मध्येच त्याने ऑक्सिजनच्या शोधाचे समग्रपणे विवरण केले होते व बेयन आणि प्रिस्टलेपेक्षा कितीतरी अधिक काटेकोरपणे व बारकाईने एकूण विवेचन केले होते. पण प्रकाशकाच्या हलगर्जीपणाचा परिणाम असा झाला की ऑक्सिजनच्या संशोधनाच्या मानापासून शील निष्कारण वंचित केला गेला!

विविध कार्बनी संयुगांचे अपघटन करून शील याने ऑक्सिजन ऊर्फ "ज्वालाग्राही हवा" मिळविली होती. त्याने सॉल्टपीटरचे सल्फ्युरिक आम्लाबरोबर उर्ध्वपातन केले व त्यातून तपकिरी रंगाच्या वाफा तयार झाल्या. उच्च तापमानात याच वाफा रंगरहित झाल्या. शीलने या वाफा एकत्रित केल्या आणि या नव्या वायूस "ज्वालाग्राही हवा" असे नाव दिले' प्रिस्टलेप्रमाणेच त्यास आढळले की नेहमीच्या हवेपेक्षा या ज्वालाग्राही हवेत मेणबत्तीची ज्योत कितीतरी तेजस्वीपणे जळते. शीलची खात्री होती की ही ज्वालाग्राही हवा नेहमीच्या हवेचा एक घटक आहे. रूदरफोर्डप्रमाणेच गुदमविणाऱ्या किंवा दूषित हवेबरोबर ती मिसळली असता शीलला असे आढळले की नेहमीच्या हवेत आणि या मिश्रणात कोणताच फरक नाही. खरे तर या शास्त्रज्ञास समजून चुकले होते की वातावरणीय हवा वायूंचे मिश्रण आहे (पुढे त्यांना नायट्रोजन व ऑक्सिजन अशी नावे मिळावयाची होती).



सी. शील

आता हे आपणास फार साधेसोपे वाटते कारण त्यामागे आपले प्रगल्भ ज्ञान आज उभे आहे. शीलही फ्लॉजिस्टॉन विचारांच्या प्रभावाखाली होताच. एका पात्रामध्ये ज्वलनशील हवा (हायड्रोजन) नेहमीच्या हवेबरोबर जाळूनही या शास्त्रज्ञास ज्वलनशील हवा व ज्वालाग्राही हवा यांच्या अभिक्रियेतून निर्माण होणारा कोणताच पदार्थ ओळखता आला नाही. या आभिक्रियेतून उष्णता निर्माण झाली एवढाच त्याचा निष्कर्ष होता. याबाबत शीलचे समर्थन असे की ज्वालाग्राही हवा फ्लॉजिस्टॉनबरोबर संयोग पावून उष्णता निर्माण झाली (जी त्याच्या मते भौतिक स्वरूपाची होती), जिच्या अपघटनातून ज्वालाग्राही हवा निर्माण झाली.

शीलने ज्वालाग्राही हवेचा आपला शोध लावला त्यावेळी प्रिस्टलेच्या प्रयोगांबाबत त्यास काहीच कल्पना नव्हती. ३० सप्टेंबर १७७४ रोजी शीलने लव्हॉसिएस त्याबाबत कळविले. खेदाची गोष्ट ही की शीलचे निष्कर्ष फार उशिरा प्रसिद्ध झाले. जर ते अगोदरच बाहेर आले असते तर वायुरूप मूलद्रव्यांच्या स्पष्टीकरणाबाबत जो गोंधळ चालू होता तो टळून हे काम कितीतरी अगोदर व सोपे झाले असते.



ए. लव्हॉसिए

त्यांचे खरे स्वरूप समजण्यास ए. लव्हॉसिए या सर्वकालीन सर्वश्रेष्ठ ठरलेल्या शास्त्रज्ञाची मोलाची मदत झाली. फ्लॉजिस्टॉन विचारांनी भारून टाकलेल्या कालखंडात अगणित प्रायोगिक निष्कर्ष, प्रयोगसाहित्य जमा झाले होते आणि त्यायोगे रसायनशास्त्रात क्रांतिकारक बदल घडले. याचे प्रमुख श्रेय, ऑक्सिजनचे योग्य स्वरूप सांगणाऱ्या ए. लव्हॉसिएला दिले पाहिजे. फ्रेडरिक एंगल्स म्हणतात: "प्रिस्टलेने मिळविलेल्या ऑक्सिजनमध्ये, फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांतास उखडणारा खराखुरा आधार लव्हॉसिएला सापडला आणि मग त्याने ही विचारप्रणाली पूर्णतया नामशेषच केली. मात्र याचा अर्थ असा नाही की फ्लॉजिस्टॉनप्रणीत जे प्रायोगिक कार्य घडले तेही निरूपयोगी ठरले. तसे मुळीच नाही. उलट, ते प्रस्थापित होत गेले, केवळ त्यांचा आराखडा फिरवला गेला आणि फ्लॉजिस्टीय विचाराचा गाभा आज साधार ठरलेल्या रासायनिक भाषेत मांडला गेला व अशा प्रकारे मूळ प्रायोगिक कार्य आधार टिकवून राहिले.'

एकंदरित लव्हॉसिएचा ऑक्सिजनशोधाचा मार्ग इतरांपेक्षा पुष्कळच सरळ-सोपा होता. सुरुवातीस हा फ्रेंच शास्त्रज्ञही फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताकडे आकर्षिला गेला होताच, पण जसजसे अधिकाधिक प्रायोगिक निष्कर्ष व वस्तु-

स्थिती सामोरी येऊ लागली तसतशी ती झिडकारण्याकडे तो प्रवृत्त होत गेला. १ नोव्हेंबर १७७२ रोजी त्याने विविध संयुगांच्या हवेतील ज्वलनाबाबत आपले प्रयोग संपविले. त्याने असा निष्कर्ष काढला की धातूंसह साऱ्या पदार्थांचे वजन, ज्वलनाअंती व निस्तापनाअंती वाढते.

या अभिक्रियामध्ये हवा तर भरपूर प्रमाणात आवश्यक असते हे पाहून ए. लव्हॉसिएने आणखी एक निष्कर्ष काढला: हवा म्हणजे वेगवेगळ्या वायूंचे मिश्रण असून हे वायु वेगवेगळ्या गुणधर्मांचे असतात. त्यापैकी काही भाग ज्वलनास उपयुक्त असून तो जळणाऱ्या पदार्थाशी निबद्ध किंवा संयोग पावतो. हवेचा हा प्रकार प्रथमतः जे. ब्लॅकच्या स्थिर हवेसदृशच त्यास वाटला, पण नंतर त्यास आपली चूक लक्षात आली. १७७४ च्या फेब्रुवारीमध्ये या शास्त्रज्ञास असे आढळून आले की जी हवा पदार्थाच्या ज्वलनसमयी प्रक्रिया पावते ती श्वसनक्रियेस फारच अनुकूल असते. अशा प्रकारे लव्हॉसिएची ऑक्सिजनबरोबर अगदी समोरासमोरच गाठ पडली! पण या नव्या वायूचा शोध जाहीर करणे त्याने टाळले कारण त्यास आणखी काही प्रायोगिक काम करावयाचे होते.

ऑक्टोबर १७७४ मध्ये प्रिस्टलेने आपल्या संशोधनाबद्दल लव्हॉसिएला कळविले तेव्हा तर या फ्रेंच शास्त्रज्ञास स्वतःच्या निष्कर्षांचे पुरेपूर महत्त्व समजून चुकले. त्याने ताबडतोब रेड मर्क्युरी ऑक्साईडवर प्रयोग सुरू केले. हा पदार्थ तर ऑक्सिजन उत्पन्न करणारा. अगदी योग्य साहित्य उपलब्ध होते. १७७५ च्या एप्रिलमध्ये "ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेस"ला लव्हॉसिएने आपले वृत्त सादर केले. "धातूंच्या निस्तापन क्रियेत त्यांच्या संयोग पावणाऱ्या आणि त्यांचे वजन वाढविणाऱ्या पदार्थाच्या स्वरूपाबाबत विवेचन" — ऊर्फ ऑक्सिजनच्या शोधाची प्रसिद्धी, असे त्या वृत्ताचे स्वरूप होते. लव्हॉसिएने म्हटलेच आहे की या प्रकारची हवा जवळ जवळ एकाच समयी प्रिस्टले, शील आणि खुद्द त्यानेही शोधली आहे. प्रथमतः या हवेचा उल्लेख तो "सहजगत्या श्वसनमार्गे घेतली जाणारी हवा" असा करतो, पण पुढे त्यात बदल करून, "जीवनदायी किंवा ओजदायी" हवा असे नाव देतो.

यावरून एक गोष्ट सहजच ध्यानात यावी की आपल्या समकालीन संशोधकांना ऑक्सिजनच्या सम्यक ज्ञानाबाबत लव्हॉसिएने केवढे तरी मागे टाकले. ओजदायी हवा हा सखोल अभ्यासाचा विषय झाला. नंतरच्या काळात शास्त्रज्ञ अशा निष्कर्षाप्रत पोहोचले की "अगदी विनासायास श्वसनमार्गे

घेता येणारी हवा" (ऑक्सिजन) आम्लकारी प्रवृत्तीची असून तो सर्व आम्लाचा प्रमुख भाग आहे. पुढे मात्र (जेव्हा ऑक्सिजनविरहित अशा हायड्रोहॅलिक आम्लांच्या उदाहरणांद्वारे) हा दृष्टिकोन चुकीचा दाखविला गेला. मात्र १७७९ मध्ये, "आम्ल निर्माण करणारा" अशा अर्थी ग्रीक शब्दावरून लव्हॉसिएने "ऑक्सिजन" हे नाव जेव्हा सुचविले तेव्हा त्याच्या मनात, या वायूची आम्लकारी प्रवृत्ती त्यामुळे चांगल्या प्रकारे प्रतिबिंबित होत होती असेच म्हणता येईल.

पाण्याचे घटक नक्की करणे ही ऑक्सिजनविषयक सिद्धांतातील एक महत्त्वपूर्ण प्रगती ठरली. १७८१ मध्ये एच. कॅव्हेंडिशने पाहिले की ज्वलनशील हवा ज्वलनानंतर जवळजवळ पूर्णतया (फ्लॉजिस्टॉन विरहित हवेसह) शुद्ध पाण्यात रूपांतरित होते. पण हे निष्कर्ष त्याने प्रसिद्ध मात्र १७८४ मध्ये केले. लव्हॉसिएला या प्रयोगांबाबत जाणीव होती आणि ते पुनरपी करून त्याने निष्कर्ष काढला की पाणी म्हणजे एक साधासुधा पदार्थ नसून ज्वलनशील आणि ओजदायक हवेचे (वायूंचे) मिश्रण आहे. हा १७८३ मध्ये काढलेला निष्कर्ष असल्यामुळे पाण्याचे घटक ठरविणारा लव्हॉसिए हाच पहिला शास्त्रज्ञ होय असे अनेक जण समजतात, पण वस्तुस्थिती मात्र असे सांगते की कॅव्हेंडिश हाच पहिला शास्त्रज्ञ होय. पाण्याचे घटक नक्की करण्यामुळे हायड्रोजनच्या अंतर्स्वरूपात डोकावणे शक्य झाले.

ऑक्सिजनच्या शोधाचा इतिहास मोठा मनोरंजक ठरतो याचे कारण हे की तो काही एका घटनेद्वारे घडलेला नाही. ठोकताळ्याच्या स्वरूपात ऑक्सिजनचे निरीक्षण होण्यापासून ते एक वायुरूप रासायनिक मूलद्रव्य म्हणून त्याचे खरे आकलन होण्याबाबतची सारी निरीक्षणे, निष्कर्ष या साऱ्यांचा अंतर्भाव या इतिहासात झालेला आहे. याबरोबरच हेसुद्धा लक्षात घेतले पाहिजे की ऑक्सिजनचा (आणि इतरही मूलद्रव्यात्मक वायूंचा) शोध ही काही एका व्यक्तीची करामत नाही. एंगल्स लिहितात: "आपण कशाशी खेळतो आहोत हे न समजताच प्रिस्टले आणि शीलने ऑक्सिजन निर्माण केला... तर लव्हॉसिएने त्याचवेळी आणि इतर दोघांच्या अपरोक्ष जरी स्वतंत्रपणे ऑक्सिजन तयार केला नसला तरीसुद्धा—तसा त्याने पुढे हक्क सांगितला—त्यांच्या विद्यमाने तोच खराखुरा ऑक्सिजनच्या शोधाचा जनक ठरतो; इतरांनी तो तयार केला खरा पण आपण काय केले याचा त्यांना कधीच पत्ता लागला नाही."

प्रकरण ४ थे

रासायनिक विश्लेषणामार्गे शोधलेली मूलद्रव्ये

निरनिराळया नैसर्गिक पदार्थांच्या विशेषत: विविध खनिजांच्या रासायनिक विश्लेषणातून जी मूलद्रव्ये शोधली गेली त्यांचा आढावा या प्रकरणात घेतला आहे. रसायनशास्त्राच्या प्रगतीमुळे अकार्बनी स्वरूपाकडे अधिकाधिक लक्ष जाऊ लागले आणि त्या अभ्यासात या विश्लेषण पद्धती दिवसेंदिवस, अधिकाधिक महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावू लागल्या. या प्रकरणास कोबाल्टच्या शोधाने सुरुवात होते तर शेवट होतो तो व्हॅनॅडिअमच्या शोधाने. १७३५ ते १८३० असा हा सुमारे १०० वर्षांचा कालावधी त्यांनी व्यापला आहे. या काळात प्रगत होत गेलेल्या रासायनिक विश्लेषणाच्या मदतीने तीसपेक्षा जास्त मूलद्रव्यांचा शोध लावला गेला. इतरही अनेक मूलद्रव्यांच्या – उदाहरणार्थ मृद्‌वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या – शोधातही विश्लेषण पद्धतींचा सिंहाचा वाटा आहे खरा पण त्यांच्या खास स्वरूपाच्या इतिहासामुळे एक वेगळेच प्रकरण त्यांच्यासाठी लिहिण्यात आले.

कोबाल्ट

कोबाल्टच्या इतिहासाची सुरुवात त्याच्या नावाच्या पूर्वपाठिकेपासून करणे उचित ठरते. मध्ययुगीन काळातील सॅक्सनीच्या खाणकामगारांनी कोबाल्टच्या खनिजास कोबाल्ड असे हेतुपुरस्सरच नाव दिले होते. त्यांचा असा विश्वास होता की कोणा दुष्ट पिशाच्चाची – "कोबोल्ड"ची या खनिजात वसती असते. हे खनिज रूप्याच्या खनिजाशी अगदी मिळतेजुळते दिसत असल्यामुळे त्यापासून रूपे मिळविण्याचे कसून प्रयत्न झाले, पण ते सारे (पिशाच्च्यामुळे ?) निष्फळ ठरले.

कोबाल्टयुक्त निळया रंगाच्या काचा, लुकणे, वर्णक (रंगदायी) द्रव्ये पाच हजार वर्षांपासून प्राचीन इजिप्तमध्ये ज्ञात होती. तुतानखामेन याच्या थडग्यामध्ये पुराणवस्तुशास्त्रज्ञांना निळया काचेचे तुकडे सापडले आहेत.

कोबाल्ट संयुगांवर आधारलेली ही काच व रंग त्यावेळी बुद्धिपुरस्सर तयार केली जात होती की ते आपसुखच, योगायोगाने तयार झाले हे सांगणे शक्य नाही. कारण कोणतेही असो, उत्पादनपद्धती मात्र दीर्घकाल अज्ञातच राहिली. या पद्धतीचा पहिला उल्लेख १६७९ मध्ये सापडतो.

जी. ब्रँड या स्विडनच्या रसायनज्ञाने १७३५ मध्ये कोबाल्टचा शोध लावला. त्याने "अर्ध-धातूंवरील प्रबंध" हा संशोधनात्मक अहवाल लिहिला व त्यात स्वतः शोधलेल्या कोबोल्ड या अर्ध-धातूचा उल्लेख केला. अर्ध-धातु या पदार्थांबद्दल शास्त्रज्ञांची अशी धारणा होती की ते दिसतात धातूंसारखेच पण धातूंचा ठळक गुण जो वर्धनीयता तो मात्र त्यांच्यात आढळत नाही. पारा, बिस्मथ, जस्त, अँटिमनी, कोबाल्ट आणि आर्सेनिक या सहा अर्ध-धातुंचा उल्लेख ब्रँडने केला आहे. बिस्मथच्या बहुतेक साऱ्या खनिजात कोबाल्ट बहुधा आढळत असल्यामुळे या दोहोतील फरक दर्शविणाऱ्या अनेक पद्धती ब्रँडने सुचविल्या.

१७४४ मध्ये ब्रँडला कोबाल्ट, लोह व गंधक असणारे एक नवे संयुक्त खनिज आढळले. ते कोबाल्ट सल्फाइड CO_3S_4 असल्याचे दिसून आले.

त्यानंतर ब्रँडने कोबाल्टचा सखोल अभ्यास केला. १८ व्या शतकाच्या अखेरीस टी. बर्गमन, एल. थेनार्थ, एल. प्राउस्ट आणि जे. बर्झेलियस यांनीही कोबाल्ट व त्याच्या संयुगांचा अभ्यास केला. परिणामी, एक उत्तम प्रकारे संशोधिले गेलेले मूलद्रव्य म्हणून कोबाल्ट माहीत झाले. तरीसुद्धा एक सांगावयाची गोष्ट अशी की कोबाल्टच्या शोधावर विश्वास ठेवण्यास अनेक शास्त्रज्ञ बराच काळ राजी नव्हते! १७७६ मध्ये पी. पॅडॅक्सी हा हंगेरियन रसायज्ञ म्हणतो की कोबाल्ट हे लोह व अर्सेनिक यांचे संयुग आहे, पण तो त्यास निकेल समजतो. पण निकेल हे एक मूलद्रव्य म्हणून त्यावेळेपावेतो केव्हाच शोधण्यात आले होते. अखेर १८ व्या शतकाच्या शेवटी अनेक शास्त्रज्ञांच्या प्रयत्नांतून जी. ब्रँडच्या शोधावर शिक्कामोर्तब केले गेले.

निकेल

कोबाल्टचे, आवर्ती कोष्टकातील आपल्या निकेल या शेजाऱ्याशी अनेक बाबतीत साम्य आढळते. सर्वप्रथम म्हणजे निकेल हे कोबाल्टप्रमाणेच सैतानी पिशाच्चाचे वसतीस्थान ठरले होते. "क्युफरनिकेल" ("तांब्यातील सैतान")

या जर्मन नावावरून निकेल हे नाव तयार झाले व त्याचा संबंध, १६९४ मध्ये स्विडिश खनिजतज्ज्ञ यु. हर्नी याने चुकीने तांब्याचे खनिज समजलेल्या खनिजाशी लावला होता. त्यापासून तांबे मिळविण्याचे पुनःपुन्हा प्रयत्न केले गेले, पण ते सारे अर्थातच फसले. मग धातुशास्त्रज्ञानी विचार केला की हे खनिज म्हणजे "निक", म्हणजे पर्वतातील पिशाच्च असावे व तेच फसवित आहे.

अनेक युगांपासून लोकांना निकेल माहीत होते. ख्रि. पू. तिसऱ्या शतकात चिनी लोकांनी तांबे, निकेल व जस्त असा संमिश्र धातु तयार केला. मध्य आशियातील बॅक्ट्रिया या राज्यात या मिश्रधातूची नाणी पाडल्याचे आढळते. लंडनमधल्या ब्रिटिश म्यूझियममध्ये त्यापैकी एक नाणे पहायवास मिळते.

क्युफरनिकेलच्या घटकांबद्दलचा गोंधळ, जरी ते योग्य प्रकारे वर्णिले गेले तरीही चालूच होता. १७२६ मध्ये आय्. लिंक या जर्मन रसायनज्ञाने हे खनिज नीट अभ्यासिले आणि दाखवून दिले की नायट्रिक आम्लातील त्याचा द्राव हिरवा रंग निर्माण करतो. त्याचा निष्कर्ष असा की हे खनिज बऱ्याच अंशी कोबाल्ट खनिजच असावे, पण त्यात तांब्याची भेसळ आलेली असणे शक्य आहे. स्विडिश खाण कामगारांना एक तांबूस रंगाचे खनिज सापडले व ते जेव्हा काचेत मिसळले असता निळा रंग देण्यास असमर्थ ठरले तेव्हा "आत्मा गमावलेले कोबोल्ड" असे त्यास नाव देऊन ते मोकळे झाले. खरे तर तेही एक निकेलचेच खनिज होते.

१७५१ पर्यंत एकूण अशी परिस्थिती अस्तित्वात होती. त्यावर्षी स्विडिश खनिजतज्ज्ञ आणि रसायनज्ञ ए. क्रॉन्स्टेटने कोबाल्टखाणीत सापडणाऱ्या खनिजात स्वारस्य घेतले. आपल्या एका प्रयोगात त्याने या खनिजाच्या आम्लातील द्रावात एक लोखंडी तुकडा बुडविला. त्याची कल्पना अशी होती की जर द्रावामध्ये तांबे असलेच तर ते धातुरूपात लोखंडावर नक्कीच चढेल. पण असे काहीच न झाल्याने त्याच्यावर आश्चर्य करायची पाळी मात्र आली. म्हणजेच द्रावात तांबे नव्हतेच. यामुळे या खनिजाबाबत जो तत्कालीन समज होता तो चुकीचा ठरला. मग क्रॉन्स्टेटने या खनिजात जे हिरव्या रंगाचे स्फटिक विखुरलेले असतात त्याबाबत सूक्ष्म संशोधन सुरू केले. बऱ्याच प्रयोगांती त्याने क्यूफरनिकेलपासून एक धातु वेगळा केला. त्याचे तर तांब्याशी मुळीसुद्धा साम्य आढळले नाही! या धातूचे क्रॉन्स्टेट

वर्णन करतो की तो घनरूप आहे, ठिसूळही आहे, चुंबकाद्वारे अल्पसाच आकर्षित होतो, तापविला असता त्याचे कृष्णवर्णी चूर्ण बनते आणि त्याचा द्राव फारच मोहक असा निळ्या रंगी बनतो. क्रॉन्स्टेटने असा विचार सुचविला की ज्या अर्थी हा धातु क्यूफेरनिकेलमध्ये सापडतो तेव्हा नाव तसेच ठेवावे, पण निकेल हे लघुरूप त्यासाठी वापरावे. आज आपणास माहीत आहेच की निकेल आर्सेनाइड म्हणजेच क्यूफेरनिकेल होय.

एक नवे मूलद्रव्य शोधण्यात आले हे युरोपातील अनेकांनी जाणले. पण काही शास्त्रज्ञ असे समजत होते की निकेल म्हणजे केवळ लोह, आर्सेनिक व तांबे यांचे मिश्रण आहे. १७७५ मध्ये टी. बर्गमनने दाखवून दिले की या तीन मूलद्रव्यांची कोणत्याही प्रमाणात मिश्रणे केली तरी कशातच निकेलचे गुणधर्म आढळत नाहीत. मग मात्र साऱ्यांच्या शंका लयास गेल्या.

मँगॅनीज

मँगॅनीजची संयुगे, विशेषत: पायरोल्युसाइट (MnO_2) हे ऑक्साइड संयुग फार प्राचीन काळापासून माहीत होते आणि ते काच व मातीच्या वस्तु तयार करण्यासाठी वापरत. १५४० मध्ये व्ही. बिरिंगुशिओ या इटालियन धातुशास्त्रज्ञाने नमूद केले आहे की पायरोल्युसाइट हे तपकिरी रंगाचे आणि न वितळणारे आहे. ते काच आणि मृत्तिकाशिल्पात मिसळले असता त्यांस जांभळा रंग मिळतो. पायरोल्युसाइटचे आणखी एक वैशिष्ट्य लोकांना माहीत झाले, ते म्हणजे त्याच्या वापरामुळे स्वच्छ, नितळ अशी पिवळ्या व हिरव्या रंगाची काच तयार होत असे.

बहुधा ऑस्ट्रियन शास्त्रज्ञ आय. केम याने सर्वप्रथम १७७० मध्ये अल्पप्रमाणात धातुरूप मँगनीज मिळविले असावे असे दिसते. त्याने एक भाग पायरोल्युसाइट व ३ भाग अभिवाहक – K_2CO_3 आणि कोळसा यांचे मिश्रण (वितळणबिंदू खाली आणण्यास मदत करणारे) एकत्रित तापविले. त्यातून त्यास निळसर पांढऱ्या रंगाचे ठिसूळ स्फटिक मिळाले. ते नि:संशय मँगॅनीज होते, पण अतिशय अशुद्धस्वरूपाचे होते. केम मात्र ते शुद्ध, लोहविरहित आहे असेच समजला आणि त्याने त्याबाबतचा पुढील अभ्यास अपुरा ठेवला.

मँगॅनीजची पुढील कथा टी. बर्गमन या नावाशी गुंफलेली आढळते. त्यावेळेपावेतो बर्गमनने निकेलच्या शोधावर आपले शिक्कामोर्तब केलेले

होते. पायरोल्युसाइटबाबतच्या स्वरूपाबद्दल त्याने पुढीलप्रमाणे सांगितले: "काळे मॅग्नेशिअम" या नावाने ओळखले जाणारे खनिज म्हणजे एक नवा मृद्प्रकार आहे. भाजलेल्या चुन्याबरोबर किंवा "मॅग्नेशिअम आल्बा" (म्हणजे मॅग्नेशिअम ऑक्साइड) याबरोबर त्याची गल्लत करून चालणार नाही. पण आय. केमच्या तुलनेत असे दिसते की टी. बर्गमन पायरोल्युसाइटपासून हा धातु मिळविण्यात काही यशस्वी झाला नाही.

या खनिजापासून नवे मूलद्रव्य वेगळे मिळविण्याचा प्रयत्न करणारा शील हा तिसरा रसायनज्ञ होय. १७७४ मध्ये "मँगॅनीज आणि त्याचे गुणधर्म" या नावाचा निबंध त्याने स्टॉकहोम ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला सादर केला. त्यामध्ये तीन वर्षे पायरोल्युसाइटवर त्याने स्वतः जो अभ्यास केला त्याचा वृत्तांत दिलेला होता. या अत्यंत माहितीपूर्ण निबंधात त्याने दोन धातूंच्या (बेरिअम व मँगॅनीज) शोधांचे वृत्त दिले असून दोन वायुरूप मूलद्रव्यांचे विवेचनही केले आहे (पुढे ते क्लोरिन व ऑक्सिजन म्हणून ओळखले गेले) शीलने असेही दाखवून दिले की त्यावेळेपावेतो ज्ञात असणाऱ्या सर्व मृत्तिकां-पेक्षा मँगॅनीज ऑक्साइड अगदी भिन्नस्वरूपी आहे.

मँगॅनीजच्या इतिहासात दोन तारखांना विशेष महत्त्व आहे, त्या म्हणजे १६ मे व २७ जून १८७७ या होत. १६ मे रोजी शीलने शुद्ध केलेल्या पायरोल्युसाइटचा नमुना आपला मित्र व स्वबांधव आय्. गाह्नकडे पाठविला आणि त्याचे अपघटन करून पाहण्यास सांगितले. गाह्नने पायरोल्युसाइटचे चूर्ण, कोळशाची पूड आणि तेल हे सर्व एका कोळशाच्या मुशीत तासभर भाजले. मुशीच्या तळाशी त्यास फारच अशुद्ध किंवा हीनस्वरूपी असा अल्प-सा धातु आढळला. त्याचे वजन एकूण जेवढे पायरोल्युसाइट घेतले होते त्याच्या केवळ एक-तृतियांशच काय ते आढळले. २७ जून रोजी गाह्नकडून हा नव्या धातूचा नमुना शील यास मिळाला असता तो आपल्या सहकाऱ्यास लिहितो: पायरोल्युसाइटपासून मिळालेला हीनस्वरूपी पण नवा अर्ध-धातु इतर साऱ्या अर्धधातूंपेक्षा वेगळा असून तो लोहाशी अतिशय मिळता जुळता आहे. एकूण अर्ध-धातु ही संज्ञा रसायनशास्त्रात आणि धातुशास्त्रातही बराच काळ तग धरुन राहिलेली दिसते. अशा प्रकारे गाह्न धातुरूप मँगॅनीज वेगळे करण्यात यशस्वी ठरला. या मूलद्रव्याचा शोध त्याने पूर्णत्वाला नेला. एवढे मात्र खरे की त्याने जो मँगॅनीज धातु मिळवला त्यात कार्बनचे उच्चतम प्रमाण आले होते (पुढे अर्थातच शुद्ध धातु मिळविला गेला).

१७७५ मध्ये जर्मन रसायनज्ञ जे. इल्सेमान याने गाह्न आणि शील यांच्या अपरोक्ष धातुरूप मँगॅनीज स्वतंत्रपणे मिळविले. त्यासाठी त्याने पायरोल्युसाइट, फ्लोअरस्पार चुनखडक आणि कोळशाची भुकटी एकत्रित तापविली. त्यातून मिळालेला पदार्थ उच्च तपमानात निस्तापित केला (भाजला). तयार झालेले मँगॅनीज मात्र अधिकच अशुद्ध होते. सुरुवातीला या धातूस लॅटिनप्रणित "मँगानेशिअम" हे नाव मिळाले व ते पायरोल्युसाइटचे "लापिस मँगानेन्सिस" हे जे नाव होते त्यावर आधारलेले होते. पुढे १८०८ मध्ये जेव्हा मॅग्नेशिअम मिळविण्यात आले तेव्हा गोंधळ टाळण्यासाठी लॅटिन नाव बदलून मँगॅनीज असे नामकरण केले गेले.

बेरिअम

बेरिअम व आवर्ती कोष्टकाच्या दुसऱ्या गटातील तत्सदृश मूलद्रव्ये निसर्गात प्राकृतिक स्थितीत आढळत नाहीत; तर सल्फेट आणि कार्बोनेट ही जी त्यांची खास खनिजे आहेत त्या खनिजांच्याच स्वरूपात आढळतात. १७ व्या शतकाच्या सुरुवातीस (अचूक सांगावयाचे झाल्यास १६०२ मध्ये) बेरिअमच्या एका खनिज-प्रकाराने किमयागारांचे लक्ष वेधले होते.

त्यावर्षी, बोलोग्ना गावातील व्ही. कास्किआलो नामक चर्मकारास असे आढळले की वजनदार स्पार (बेरिअम सल्फेट खनिजाचा पैलूदार खडा), कोळसा आणि शुष्कन तेल एकत्र तापवून नेहमीच्या तपमानास थंड केले असता त्यातून तांबूस रंग बाहेर पडण्यास सुरुवात होते. बोलोग्ना पाषाण, बोलोग्ना फॉस्फरस, सूर्यपाषाण इत्यादी नावे मिळालेले ते बेरिअम सल्फाइड BaS खनिज होते. त्याच्या चमत्कृतीपूर्ण चमकण्याची अनेक स्पष्टीकरणे दिली गेली. उदाहरणार्थ, फ्रेंच रसायनज्ञ एन. लेमेरी आपल्या "रसायनशास्त्राचा अभ्यासक्रम" या पुस्तकात म्हणतो की हे चमकणे बोलोग्ना खडकात असणाऱ्या फॉस्फरसमुळे असते. चमकण्याची अशीच प्रवृत्ती दाखविणारे दुसरे एक खनिज म्हणजे बोल्ड्विन फॉस्फरस ऊर्फ निर्जल कॅल्शिअम नायट्रेट होय.

बऱ्याच काळापावेतो म्हणजे १७७४ पर्यंत या वजनदार स्पार आणि चुन्याच्या दगडात गोंधळ होत होता; एकाच संयुगाचे ते दोन प्रकार समजले जात. १७७४ मध्ये गाह्नसमवेत शील पायरोल्युसाइटचा अभ्यास करीत असता त्यास एक नवे संयुग आढळले. त्यावरील गंधकाम्लाच्या प्रक्रियेतून

एक पांढऱ्या रंगाचा अवक्षेप किंवा साळा मिळाला. शीलने असे प्रतिपादन केले की या वजनदार स्पारमध्ये मृत्तिकेचा एक अज्ञात प्रकार आहे. त्यास "बरायटाचा एक प्रकार" असे त्याने नाव दिले.

१८ व्या शतकाच्या अखेरीस बेरिअम ऑक्साइड लोकांना बरेचसे परिचित झाले होते. या संयुगात एखादा नवा अज्ञात धातु असावा असे सुचविले गेले. "रसायनशास्त्राचे क्रमिक पुस्तक" या आपल्या पुस्तकात लव्हॉसिएने या मतास पुष्टी दिली. "सामान्य पदार्थांचे कोष्टक" यात बेराइट एक सामान्य पदार्थ गणला गेला. तथापि, केवळ १८०८ मध्येच एच. डेव्ही हा नवा धातु तयार करण्यात यशस्वी झाला. त्यासाठी त्याने कॅल्शिअम तयार करण्यास जी पद्धत वापरली होती तिचाच वापर केला (प्रकरण ६ पहा).

ग्रीक भाषेत बॅरोस म्हणजे वजनदार. त्यापासून बेरिअम शब्दाची निष्पत्ती झाली आहे. बेरिअम ऑक्साइड व त्याची खनिजे चांगलीच वजनदार असल्यामुळे ही नामनिष्पत्ती सार्थच ठरते.

मॉलिब्डेनम

मॉलिब्डेनमची कथा मनोरंजक आणि सुरस घटनांनी परिपूर्ण नाही, शिवाय ती फारशी महत्त्वपूर्णही नाही, एकच उल्लेखनीय घटना म्हणजे या दुर्मिळ धातूचा शोध फारच लवकर म्हणजे १७७८ मध्ये लागला. त्यावेळी रासायनिक विश्लेषण पद्धती नुकतीच कोठे रूजू लागली होती. मॉलिब्डेनम सर्वप्रथम ऑक्साइड स्वरूपात अलग केले गेले. मॉलिब्डेनम हे नाव मात्र, या मूलद्रव्याचा शोध लागण्यापूर्वी कितीतरी आधीपासून प्रचारात आले होते. ग्रीक भाषेतील शिशाच्या खनिजाचे (लेड ग्लान्सचे) मॉलिब्डेना आणि शिशाचे मॉलिब्डॉस या एकसारख्या दिसणाऱ्या दोन पदार्थांच्या नावावरून ते नाव तयार झाले. आणखी एक खनिजही वरील दोहोंप्रमाणेच दिसते. पुढे ते मॉलिब्डेनाइट (मॉलिब्डेनम सल्फाइड) म्हणून माहीत झाले.

१७५४ मध्ये स्वीडिश खनिजतज्ज्ञ ए. क्रॉन्स्टेट याने या दोन खनिजातील फरक स्पष्ट केला. मॉलिब्डेनाइटचे गुणधर्म वैशिष्ट्यपूर्ण आहेत एवढेच त्याने म्हटले. पण त्यासाठी भक्कम पुरावा आवश्यक होता. योगायोगाने मॉलिब्डेनाइटच्या अभ्यासाचा वृत्तांत शीलच्या हाती पडला. १७७८ मध्ये शीलने मॉलिब्डेनाइटचे विश्लेषण केले. मॉलिब्डेनाइट आणि तीव्र नायट्रिक आम्ल यांच्या प्रक्रियेतून एक अवजड व पांढऱ्या रंगाचा गोळा मिळाला.

त्यास शीलने "एक विशिष्ट प्रकारची पांढरी मृत्तिका" असे मानले. याबरोबरच नायट्रिक आम्लाचा ग्राफाइटवर मात्र कोणताच परिणाम झाला नाही, हे पण ध्यानात आले. अशा प्रकारे मॉलिब्डेनाइट व ग्राफाइट यातील फरक स्पष्ट झाला. "विशिष्ट पांढऱ्या मृत्तिके"च्या आम्लधर्मी स्वरूपामुळे शीलने तीस "मॉलिब्डिक आम्ल" असे नाव दिले. मॉलिब्डिक आम्लाचे निस्तापन केले असता या स्वीडिश शास्त्रज्ञास मॉलिब्डेनम ऑक्साइड म्हणजेच एका नव्या धातूचे ऑक्साइड संयुग मिळाले. शीलला मनोमन तसेच वाटत होते व त्याचा सहकारी व देशबांधव टी. बर्गमनही त्याच्याशी सहमत होता.

त्यानंतर या मृत्तिकेपासून (मॉलिब्डेनम ऑक्साइडपासून) मॉलिब्डेनम धातु मिळविण्याचे महत्त्वपूर्ण कार्य बाकी होते. त्यासाठी या मृत्तिकेचे कोळशाबरोबर निस्तापन करण्याचे शीलने ठरविले. पण या ना त्या कारणाने हे काम तो स्वतः करू शकला नाही व त्याने आपला मित्र पी. जेल्म याजकडे ते सोपविले. १७९० मध्ये जेल्मने शीलच्या म्हणण्याप्रमाणे तसे केले व मॉलिब्डनम धातु मिळविलाही, पण त्यास धातु म्हणू नये एवढा तो कार्बन आणि मॉलिब्डेनम कार्बाइडने दूषित होता.

शुद्ध मॉलिब्डेनम तयार करण्याचे श्रेय बर्झेलियसला मिळाले (१८१७). हायड्रोजनच्या सहाय्याने ऑक्साइडचे संक्षपण (क्षपण) करून ते साध्य झाले.

टंगस्टन

टंगस्टन हासुद्धा एक दुर्मिळ धातु खरा पण तो (अर्थात त्याच्या ऑक्साइडच्या स्वरूपात) १८ व्या शतकाच्या अखेरच्या पाव शतकातच शोधला गेला. काही प्रमाणात ती एक आकस्मिक गोष्ट ठरली तर विश्लेषणात्मक रसायनशास्त्राची वाढती प्रगतीही त्यास उपकारक ठरली.

टंगस्टन हे नाव तर खूपच आधीपासून अस्तित्वात आले. जर्मन भाषेत "लांडग्याचे भक्ष्य" असा त्याचा अर्थ होतो. यातील मुद्दा असा की काही ठिकाणच्या खनिजाचे कथिलासाठी जे विगालन केले जाई त्या क्रियेत विगालित धातूचा काही भाग हमखास नाहीसा किंवा वाया जात असे. मध्ययुगीन खाणकामगार असे समजू लागले की कोणत्यातरी अज्ञात खनिजाच्या अस्तित्वामुळे कथिलाच्या अंशात घट होत असावी, जसा कळपातील छुपा लांडगा एखादे मेंढरू पळवितो! या अज्ञात खनिजास टंगस्टन अथवा वोल्फ्रामाइट

(वोल्फ – लांडगा) असे नाव दिले गेले. जसा काळ लोटला तसे शास्त्रज्ञांचे टंगस्टनकडे अधिकाधिक लक्ष गेले. १७६१ मध्ये जर्मन खनिजतज्ज्ञ आय. लेमान याने वोल्फ्रामाइट चे विश्लेषण केले खरे पण त्यास त्यात काही वेगळा घटक आढळला नाही. त्याचा देशबांधव पी. वोल्फ एवढेच म्हणाला की वोल्फ्रामाइटमध्ये "काहीतरी" वेगळा घटक असला पाहिजे. "टंगस्टन" किंवा "वजनदार दगड" या नावाचे आणखी एक वैचित्र्यपूर्ण खनिज माहीत होतेच. ए. क्रॉन्स्टेटला ते १७५१ मध्ये सापडले. १७८१ मध्ये सी. शीलचे लक्ष या खनिजाकडे आकर्षिले गेले व त्याने त्यावर (टंगस्टन ऊर्फ कॅल्शियम वोल्फ्रामाइटवर) नायट्रिक आम्लाची क्रिया करून मॉलिब्डिक आम्लाशी मिळताजुळता असा पांढऱ्या रंगाचा पदार्थ मिळविला. विश्लेषणकार्यात पट्टीचा चतुर अशा शीलने या दोन आम्लातील सुस्पष्ट फरक दाखवून दिला आणि टंगस्टनचा संशोधक म्हणून मग त्याच्या नावास आपोआप मान्यता मिळाली.

याच सुमारास टी. बर्गमन हासुद्धा याच शोधाच्या अगदी नजिक पोहोचला होता. टंगस्टनच्या उच्च घनतेमुळे त्याचे मत असे झाले की त्यामध्ये बराइटा मृत्तिका असणे शक्य आहे. या खनिजाचा अभ्यास करता या शास्त्रज्ञास त्यात एक पांढऱ्या रंगाचा पदार्थ सापडला व त्यास त्याने टंगस्टिक आम्ल असे म्हटले. पण यानंतर मात्र बर्गमनने चुकीचा मार्ग धरला, आणि टंगस्टिक व मॉलिब्डिक आम्लाना तो अर्सेनिकजन्य संयुगे समजला. तथापि ही आपली समजूत त्याने तपासून पाहिलीच नाही. १७८३ मध्ये एफ. व एच. ड'एग्लार या दोन स्पॅनिश रसायनज्ञ बंधूनी वोल्फ्रामाइटपासून पांढऱ्या रंगाचे आणि टंगस्टिक आम्लाशी साधर्म्य दाखविणारे आम्ल वेगळे केले. बर्गमन आणि शीलप्रमाणेच या स्पॅनिश रसायनज्ञांनाही धातुरूप टंगस्टन वेगळे करण्यात यश मिळाले.

टेल्युरिअम

अठराव्या शतकाच्या उत्तरार्धात ऑस्ट्रियात, नक्की सांगावयाचे झाल्यास सेबेंजबर्ग (सप्तपर्वतांचा भाग) या प्रदेशात निळ्या-पांढऱ्या रंगाचे एक वैचित्र्यपूर्ण खनिज आढळले. ते वैचित्र्यपूर्ण अशासाठी म्हणावयाचे की त्याच्या घटकद्रव्यांबाबत एकमतच होईना. एकमत होत नव्हते ते त्यामध्ये सोने

असावे की नाही या मुद्याबाबत. त्याला नावेही तशीच चमत्कारिक मिळाली होती; विरोधाभासात्मक सोने, सफेद सोने, समस्यामय सोने असे म्हटले गेले. काही शास्त्रज्ञांनी ठामपणे सांगून टाकले की या खनिजाबाबत तसा कोणताच प्रश्न नसून बहुधा त्यात अँटिमनी किंवा बिस्मथ अथवा दोन्हीही असणे शक्य आहे. पुढे १८७२' मध्ये खनिकर्म इंजिनियर आय. म्युलर (नंतर बॅरन फॉन रिचेनस्टेन) याने या खनिजाचे अतिशय काळजीपूर्वक रासायनिक विश्लेषण केले. त्यापासून मिळविलेला धातूचा भाग (रेग्युलस) अँटिमनीशी फारच जुळता आहे असे त्याचे मत झाले. पण त्यानंतरच्या वर्षभरात त्यास पक्केपणे वाटू लागले की समजतो तसे साम्य असले तरीही आपण एका नव्या, पूर्वी माहीत नसलेल्या धातूबाबत हे काम करीत आहोत. तथापि स्वतःच्याच विचारावर न विसंबता या इंजिनियरने टी. बर्गमन याचा सल्ला घेतला. पण बर्गमनला निश्चित काही निष्कर्ष काढण्यास मदत होईल एवढा काही पुरेसा नमुना त्याने पाठविला नाही. बर्गमन एवढेच म्हणू शकला की म्यूलरचा धातु अँटिमनी निश्चितच नाही. हे प्रकरण येथेच संपले. पुढे पंधरा वर्षांपावेतो त्या ऑस्ट्रियन इंजिनियराच्या शोधाची कुणालाच आठवण राहिली नाही. टेल्युरिअमच्या खऱ्या जन्मास बराच अवधी होता तर!

हा दुसरा जन्म लवकर होण्यास जर्मन रसायनज्ञ एम क्लॅप्रॉथ कारणीभूत ठरला. जर्मन अॅकॅडमी ऑफ सायन्सेसच्या बैठकीत २५ जानेवारी १७९८ रोजी क्लॅपरॉथने सप्तपर्वतराजीतील सोन्याच्या खनिजाबाबत आपला अहवाल सादर केला. म्यूलरने आपल्या वेळी जे केले त्याचीच क्लॅप्रॉथने पुनरावृत्ती केली होती, पण म्युलरप्रमाणे क्लॅपरॉथला आपल्या निष्कर्षाबद्दल शंका मात्र मुळीच नव्हती. या नव्या मूलद्रव्यास त्याने "टेल्युरिअम" असे नाव दिले. (लॅटिन 'टेलस' शब्दाचा अर्थ पृथ्वी असा आहे). क्लॅप्रॉथला खनिजाचा नमुना खरे तर म्युलरकडूनच मिळाला होता पण टेल्युरिअमच्या शोधाच्या वाट्यात तो म्युलरला सहभागी करण्यास तयार नव्हता. अर्थात या जर्मन रसायनज्ञाच्या कामाचे मोल काही कमी नव्हते. काही झाले तरी एका विसरून गेलेल्या मूलद्रव्यास त्याने उजेडात आणले हे कसे विसरता येईल?

टेल्युरिअमच्या शोधामध्ये तिसऱ्या एका व्यक्तीचाही अंतर्भाव असावा असे म्हणण्याइतपत खात्रीचा पुरावा उपलब्ध आहे. पी. काइटबेल नामक हंगेरीतील पेस्ट विद्यापीठातील प्राध्यापक, एक रसायनज्ञ आणि वनस्पती-

शास्त्रज्ञ—हीच ती व्यक्ती होय. १७८९ मध्ये मॉलिब्डेनाइट समजले जाणारे आणि रूपेयुक्त अशा खनिजाचा नमुना एका सहध्यायाकडून त्यांना मिळाला. पी. काइटबेल यांनी त्यापासून एक नवे मूलद्रव्य वेगळे मिळविले. नंतर त्यांनी असे सिद्ध केले की "समस्यामय सोने" समजल्या गेलेल्या खनिजात हेच मूलद्रव्य असते. अशा प्रकारे काइटबेल यांनी इतरांच्या अपरोक्ष टेल्युरिअमचा शोध लावला. एक मात्र खेदाची बाब ही की त्यांनी आपले निष्कर्ष ताबडतोब प्रसिद्ध केले नाहीत, त्याऐवजी आपल्या संशोधनाचा वृत्तांत काही सहध्यायांना व विशेषत: व्हिएन्नाचे खनिजतज्ज्ञ एफ. इस्टनर यांना पाठविला. एम्. क्लॅप्रॉथ याना इस्टनरकडून काइटबेलचे निष्कर्ष समजले, आणि त्याबाबत क्लॅपरॉथने जरी अनुकूल उद्गार काढले तरी त्याचे समर्थन मात्र केले नाही. कित्येक वर्षांनी आय. म्यूलर याने क्लॅप्रॉथला त्याबाबत लिहिले आणि क्लॅप्रॉथलाही काइटबेलचे निष्कर्ष पडताळून पाहण्यास तेव्हा कुठे वेळ मिळाला. त्यावरून क्लॅप्रॉथची खात्री झाली की या शोधाचा काइटबेल हाच काय तो जनक आहे आणि आपल्या अहवालात याबाबत त्याने खास उल्लेख केला.

दीर्घकाळापर्यंत टेल्युरिअम हा एक धातुच समजला गेला. पुढे १८३२ मध्ये बर्झेलियसने त्याचे सेलेनिअम आणि गंधकाबरोबर कमालीचे साम्य असल्याचे दाखवून दिले.

त्यानंतर मात्र टेल्युरिअम सदासर्वकाळासाठी कायमचा अ-धातु मानला गेला.

स्ट्रॉंशिअम

१७८७ मध्ये स्कॉटलंडमधल्या स्ट्रॉंशियन खेड्यानजिकच्या शिशाच्या खाणीत स्ट्रॉंशिअनाइट हे एक नवे खनिज आढळले. खनिजतज्ज्ञांनी त्याचे वर्गीकरण फ्ल्युओराइट (CaF_2) चा एक प्रकार असे केले खरे पण बहुसंख्य शास्त्रज्ञ मात्र त्यास विदेराइटचा ($BaCO_3$, बेरिअमचे खनिज) एक प्रकार असल्याचेच समजले.

१९७० मध्ये स्कॉटिश वैद्य ए. क्रॉफोर्ड याने या खनिजाचा सखोल अभ्यास केला. या अभ्यासात त्याने पाहिले की स्ट्रॅंशिअनाइटवर हायड्रोक्लोरिक आम्लाची प्रक्रिया केल्यावर मिळणारा क्षारपदार्थ हा बेरिअम क्लोराइडपेक्षा सर्वस्वी भिन्न आहे. पाण्यात तर तो अगदी सहजगत्या विरघळतो, आणि त्यांचे स्फटिकही वेगळ्याच आकाराचे आहेत. यावरून क्रॉफोर्डचा

निष्कर्ष असा की स्ट्रॉंशिअनाइटमध्ये पूर्वी माहीत नसलेला एक अज्ञात मृत्तिकाप्रकार आहे.

१७९१ च्या शेवटी स्कॉटिश रसायनज्ञ टी. होप याने स्टॉंशिअनाइटच्या अभ्यासात स्वारस्य घेतले आणि विदेराइट व स्टॉंशिअनाइट यातील भेद स्पष्ट केला. होपने असेही पाहिले की चुनकळीपेक्षाही स्ट्रॉंशिअम मृत्तिका पाण्याबरोबर कितीतरी अधिक तीव्रतेने संयोग पावते, बेरिअम ऑक्साइडच्या मानाने ते पाण्यात अधिक सहजतेने विरघळते, तसेच स्ट्रॉंशिअमच्या सर्व संयुगांमुळे ज्योतीस तांबडा रंग मिळतो. म्हणजेच नवीन मृत्तिकाप्रकार कॅल्शिअम आणि बेरिअम या मृत्तिकांचे मिश्रण नव्हेच नव्हे. याबाबत लव्हॉसिएने असे सूचित केले की हा नवा मृत्तिकाप्रकार धातुसदृश स्वरूपाचा असणे शक्य आहे. पण पुढे केवळ डेव्हीच ते सिद्ध करण्यात यशस्वी ठरला.

आणखी एका शास्त्रज्ञाचा उल्लेख केल्याशिवाय स्ट्रॉंशिअमच्या शोधाच्या इतिहासास पूर्णत्व येणार नाही. टी. इ. लोव्हिट्स हा तो रशियन रसायनज्ञ असून स्ट्रॉंशिअनाइटच्या अभ्यासाचे श्रेय निःसंशय त्याला दिलेच पाहिजे. त्याने स्वतंत्ररित्या निष्कर्ष काढला की स्ट्रॉंशिअनाइट खनिजात अज्ञात मूलद्रव्य निश्चित आहे. वजनदार स्पारमध्ये स्ट्रॉंशिअमचा शोध लावणारी पहिली व्यक्ती लोव्हिट्स हीच आहे. धातुरूप स्ट्रॉंशिअम तयार करण्यासाठी डेव्हीने जी पद्धत सुचविली त्यामुळे पाहिजे तेवढचा शुद्धतेचा धातु मिळाला नाही. केवळ १९२४ मध्येच पी. डॅनर (अमेरिका) याने शुद्धस्वरूपी स्ट्रॉंशिअम तयार केले व तो त्याने ॲल्युमिनियम अथवा मॅग्नेशिअम धातूच्या सहाय्याने स्ट्रॉंशिअम ऑक्साइडचे निक्षेपण करून मिळविला.

झिर्कोनिअम

झिर्कोनिअम ऑक्साइडचे ॲल्युमिनियम ऑक्साइड ऊर्फ ॲल्युमिनाशी खूपच साधर्म्य आढळते. ॲल्युमिनिअम ऑक्साइडमुळे झिर्कोनिअम ऑक्साइडचे अस्तित्व बऱ्याच काळापर्यंत उघडकीस येऊ शकले नाही. तशी झिर्कोनिअम खनिजे जरी मध्ययुगीन काळापासून माहीत होती तरी त्यामध्ये एक अज्ञात मूलद्रव्य असावे अशी शंका कोणासही आली नाही. म्हणूनच पृथ्वीवर विपुल प्रमाणात (०.०२%) आढळणारा धातु अगदी १८ व्या शतकाच्या अखेरपावेतो अज्ञातच राहिला. आज झिर्कोन हे झिर्कोनिअम धातूचे प्रमुख

खनिज वापरात असून ते हायसिंथ आणि जार्गून नामक दोन प्रकारात आढळते. आपल्या पिवळट-तपकिरी ते धूसर हिरव्या रंगातील हायसिंथ हा प्रकार एक मौल्यवान खडा म्हणून पुरातन काळापासूनच गणला गेला आहे.

असा समज होता की माणिक व पुष्कराज या मौल्यवान खड्यांप्रमाणेच हायसिंथचे घटक असावेत.

झिर्कोनचे विश्लेषण एकापेक्षा अधिक वेळा झाले आणि प्रत्येक वेळेस ते चुकीच्या मार्गेच होत गेले. १८८७ मध्ये जर्मन रसायनज्ञ जे. विग्लेब याने सिलोनी झिर्कोनचे जेव्हा विश्लेषण केले तेव्हा त्यास त्यामध्ये फक्त सिलिकॉन डायॉक्साइड आणि चुना-मॅग्नेशिया-लोह याचे काही अंशी मिश्रण आढळले. तत्पूर्वी टी. बर्गमनसारख्या विश्लेषण कामात निष्णात असलेल्या रसायनज्ञाने हेच सांगितले की झिर्कोनमध्ये (सिलोनी हायसिंथ प्रकारात) २५% सिलिकॉन ऑक्साइड, ४०% ॲल्युमिनिअम ऑक्साइड, १३% आयर्न ऑक्साइड व २०% चुना आहे. त्यात एखादे नवे मूलद्रव्य असण्याबाबतची त्यासही शंका आली नाही. याचा अर्थ असाच की पुढे झिर्कोनिअम म्हणून नावारूपास येणारे मूलद्रव्य ॲल्युमिनिअम डायॉक्साइडमुळे निर्धास्तपणे छपविले जात होते.

हे छपविणारे आवरण — नैसर्गिक मायावरण — पुढे १७८९ मध्ये एम. क्लॅपरॉथ याने दूर केले. त्याने झिर्कोनची पूड (ती टी. बर्गमनने वापरलेल्या नमुन्यासारखीच होती) रूप्याच्या मुशीत अल्कद्रव्यासह तापविली व नंतर तो मिश्रधातु सल्फ्यूरिक आम्लात विरघळवून एक नवीन मृत्तिका-प्रकार अलग केला. या मृत्तिकेस क्लॅप्रॉथने झिर्कोनिअम असे संबोधिले. मृत्तिकेच्या विश्लेषणात्मक निष्कर्षातून असे दिसले की तीमध्ये २५% टक्के सिलिका, ०.५% आयर्न ऑक्साइड व ७०% झिर्कोनिअम-मृत्तिका आहे. टी. बर्गमनच्या निष्कर्षांचे यांचेशी कसलेच साम्य नाही हे सहजच ध्यानी येते. त्याच वर्षी गायटन द मार्व्ह्यू याने फ्रान्समध्ये आढळणाऱ्या हायसिंथच्या नमुन्यापासून झिर्कोनिअम अलग केले आणि क्लॅपरॉथच्या निष्कर्षास दुजोरा दिला.

मात्र धातुरूप झिर्कोनिअम तयार करणे हे काम सोपे नाही याची लवकरच कल्पना आली. एच्. डेव्हीने विजेच्या सहाय्याने झिर्कोनिअम-मृत्तिकेचे अपघटन करण्याचा अयशस्वी प्रयत्न केला. बर्झेलिअसने पोटॅशिअम, पोटॅशिअम फ्ल्युओराइड आणि झिर्कोनिअम (मृत्तिका) यांचे कोरडे मिश्रण

प्लॅटिनमच्या मुशीत तापवून अशुद्ध झिर्कोनिअम मिळविले, पण त्यास १८२४ पर्यंत ते शक्य झाले नव्हते.

झिर्कोन या खनिजापासूनच झिर्कोनिअम हे नाव प्रचलित झाले.

युरेनिअम

संपूर्ण अज्ञातवासातून एकदम प्रसिद्धीच्या झोतात आलेले जर कोणते मूलद्रव्य असेल तर ते युरेनिअमच. आवर्ती कोष्टकात या मूलद्रव्याने ९२ क्रमांकाची "खोली" पटकाविली आहे. १७८९ मध्येच युरेनिअम शोधण्यात आले, पण कित्येक वर्षे कोणत्याच रसायनशास्त्रज्ञास त्याबाबत मुळीसुद्धा स्वारस्य वा कुतुहल वाटले नाही. त्याचा उपयोग होत होता, पण फक्त रंगीत काच तयार करण्याकडे. १९०६ मध्ये मेंदेलेयेवने "रसायनशास्त्रांची मूलतत्त्वे" या आपल्या पुस्तकाच्या ८ व्या आवृत्तीत असे आवाहन केले की ज्या कोणा संशोधकास संशोधनार्थ नवीन विषय हवा असेल त्याने युरेनिअम-संयुगांकडे अवश्य ध्यान द्यावे. मेंदेलेयेवने असे म्हणण्यास कारणही तसेच होते. त्यावेळी म्हणजे १९ व्या शतकाच्या अखेरीस शास्त्रीय जगताशी संबंधित अशा दोन महत्त्वपूर्ण घटना युरेनिअमशी संबंधित होत्या, त्या म्हणजे टेलिअमचा शोध आणि किरणोत्सरणाचा शोध. अखेर योगायोगाचे किंवा इतर कोणते तरी कारण तर नसावे ना की नैसर्गिकरित्या आढळणाऱ्या रासायनिक मूलद्रव्यांपैकी युरेनिअम हे शेवटचे ठरावे आणि सर्वांमध्ये अत्य-धिक जडही असावे?

काही शास्त्रज्ञ तर या ९२ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याचा "या शतकातील पहिल्या क्रमांकाचे मूलद्रव्य" असा सन्माननीय उल्लेख करतात.

परंतु एवढे असूनही सुमारे २०० वर्षांपूर्वी लागलेला युरेनिअमचा शोध म्हणजे काही नवलपूर्ण घटना आहे असे कुणालाच वाटले नाही. विश्लेषणा-त्मक रसायनशास्त्राचा विकास चालू होता त्या संबंधात इतर जी मूलद्रव्ये शोधण्यात आली त्यातच एक युरेनिअम, बस्स, एवढेच लोकांनी महत्त्व दिले. युरेनिअमच्या शोधकाच्या नावाबद्दल – एम. क्लॅपरॉथबद्दल – मात्र मुळीसुद्धा शंका नाही. एवढे खरे की युरेनिअम वेगळे करण्याचे – निष्कर्षणाचे – काम मात्र दुसऱ्याच एका शास्त्रज्ञाने केले. (या मुद्याकडे आपण नंतर परत वळूच).

पिचब्लेंडी (युरेनिअमचे खनिज) हा प्रकार तर मानवास कित्येक युगांपासून माहीत होता. रासायनिक विश्लेषण जेव्हा बाल्यावस्थेत होते तेव्हा पिच्ब्लेंडी म्हणजे जस्त व लोहाचे खनिज समजले गेले. त्याबाबतची अचूक कल्पना पुढे येणार होती.

या पिचब्लेंडीचा नमुना क्लॅप्रॉथच्या हातात पडला असता त्याने एक तुकडा नायट्रिक आम्लात विरघळविला आणि त्या द्रावात पोटॅश मिसळले. परिणामी पिवळया रंगाचा साखा मिळाला व तो अधिकतम पोटॅशमध्ये विरघळतो असे लक्षात आले. या साख्याचे स्फटिक हिरवट-पिवळया रंगाचे आणि षटकोनी चितीच्या (प्रिझमच्या) आकारात मिळाले. क्रमाक्रमाने त्या शास्त्रज्ञास स्पष्ट कल्पना येण्यास सुरुवात झाली की आपण एका नव्या मूलद्रव्याचा क्षार मिळविण्यात यशस्वी झालो आहोत. त्यांचे ऑक्साइडात रूपांतर करून या शास्त्रज्ञाने त्यापासून शुद्ध धातु वेगळा करण्याचा प्रयत्न केला. आणि मुशीच्या तळाशी जेव्हा चमकदार व कृष्णवर्णी पूड तयार झाली तेव्हा या जर्मन शास्त्रज्ञास मनोमन वाटले की आपला हेतु सफल झाला. पण क्लॅप्रॉथची ती चुकीची समजूत होती. झाले काय की नखभर धातु आणि ओंजळभर ऑक्साइड यांचे मिश्रण असा तो प्रकार होता. म्हणजेच रसायनज्ञांना पुरती कल्पनाच आली नव्हती की शुद्ध युरेनिअम मिळविणे ही केवढी कठीण बाब आहे.

क्लॅपरॉथला मात्र आपल्या यशाबद्दल पक्का विश्वास होता आणि नव्याने शोधलेल्या मूलद्रव्यास त्याने "युरेनिअम" हे नाव सुचविले. याबाबत हा रसायनज्ञ लिहितो, "प्राचीन काळी फक्त सात ग्रह माहीत होते व ते सात धातूंचे प्रतीक मानले जात. ही परंपरा लक्षात घेता नव्या धातूस अलिकडेच व नव्यानेच शोधल्या गेलेल्या ग्रहाचे (युरॅनसचे) नाव देणे अगदी उचित व यथार्थच ठरते." १७८१ मध्ये इंग्लिश खगोलज्ञ विल्यम हर्षल याने या नव्या ग्रहाचा – युरॅनसचा – शोध लावला. त्यानंतर नव्याने शोधल्या जाणाऱ्या मूलद्रव्यास आकाशस्थ ग्रहगोलांची नावे देण्याची एक टूमच निघाली. "साधा पदार्थ" म्हणून तशांच्या यादीत युरेनिअम टाकले गेले व अशाप्रकारे रासायनिक क्रमिक पुस्तकात त्याचा शिरकाव झाला पण धातुरूपातील युरेनिअम मात्र दीर्घ कालापावेतो मिळविणे अशक्यप्राय ठरले. त्यामुळेच की काय क्लॅप्रॉथच्या शोधाबद्दल संशय घेणारे अनेक शास्त्रज्ञ निघाले. मात्र या जर्मन शास्त्रज्ञाच्या निधनानंतर (१८१७) बर्झेलियसचा शिष्य जे. आर्फवे-

ऱ्गन याने गुरूच्या सांगण्यावरूनच क्लॅप्रॉथच्या शोधाबाबत निर्माण झालेले सारे संशय दूर करण्याचे ठरविले. त्याने काळ्या-हिरव्या रंगाच्या युरेनिअम ऑक्साइडचे हायड्रोजनच्या सहाय्याने क्षपण करण्याचा प्रयत्न केला. आर्फवेड्सनच्या मते हे सुरुवातीचे साहित्य कमी ऑक्सिडीकरण झालेले असावे (आज आपल्या ध्यानी येतेच की हा स्विडिश शास्त्रज्ञ U_3O_8 वर काम करीत होता). या प्रयत्नातून तपकिरी रंगाची पूड (UO_2) मिळाली. आर्फवेड्सनचे असेच मत झाले की त्याने धातुरूप युरेनिअमच वेगळे केले.

पुढ १८४१ साल उजाडल्यावरच इ. पेलिगॉट या फ्रेंच रसायनज्ञास निक्षेपणाची एक नवी पद्धत वापरून या कामात यश मिळाले. त्याने प्लॅटिनमच्या बंद मुशीमध्ये निर्जल युरेनिअम क्लोराइड धातुरूप पोटॅशिअमसह तापविले व त्यातून त्यास कृष्णवर्णी धातुरूप चूर्ण मिळाले. या चूर्णाच्या आणि क्लॅप्रॉथच्या तथाकथित युरेनिअमच्या गुणधर्मात प्रकर्षाने फरक जाणवले. म्हणूनच काही विज्ञानेतिहासकार युरेनिअमच्या खऱ्या शोधाचे श्रेय इ. पेलिगॉटला देतात.

फ्रेंच रसायनज्ञ ए. मॉइसन याने स्वतः तयार केलेल्या व अति-उच्च तापमान निर्माण होऊ शकणाऱ्या विद्युत्‌भट्टीच्या सहाय्याने युरेनिअम धातूचे ठोकळे (धातुपिंड) तयार केले. असा पहिला ठोकळा मे १८९६ मध्ये तयार करुन बेक्वेरला नजर केला गेला. या नमुन्याच्या सहाय्याने बेक्वेरलने प्रस्थापित केले की किरणोत्सारिता हा मूलद्रव्यात्मक युरेनिअमचा गुणधर्म आहे. या गुणधर्माने प्रत्येकाचे लक्ष युरेनिअमने प्रथमतःच आकर्षून घेतले.

एके काळी या धातूने मेंदेलेयेवला तो आपल्या आवर्ती कोष्टकावर काम करीत असता खूपच त्रास दिला. युरेनिअमचा अणुभार १२० समजला गेला व त्यामुळे त्यास तिसऱ्या गटात, ॲल्युमिनियमचा समान धर्मी, पण वजनदार पदार्थ म्हणून जागा दिली गेली. पण ही स्थाननिश्चिती युरेनिअमच्या गुणधर्मानुसार काही जुळेना. मग मेंदलेयेवने विचार केला की अणुभार चुकीचा ठरविला गेला असावा व त्यात १००% वाढ केली. यामुळे युरेनिअमची जागा ६ व्या गटात व टंगस्टनच्या नंतर ठरली तसेच आवर्ती कोष्टकात त्याचा सर्वात शेवटचा क्रमांक लागला.

डब्ल्यू. ग्रेगर हा काही रसायनज्ञ नव्हता. पण खनिजांची त्यास आवड असल्यामुळे हा इंग्रज पाद्री खनिजावर रासायनिक प्रयोग करत असे. वेळो-वेळी निरनिराळ्या खनिजांची घटकद्रव्ये ग्रेगर पडताळून पाहत असे आणि या कामात पुढे पुढे तो एवढा वाकबगार व यशस्वी ठरला की एक तज्ज्ञ खनिजज्ञानी म्हणून जे. बर्झेलियसही मग त्यास मान देऊ लागला. एक दिवस आपल्याच भागातील मेनॅसिन खोऱ्यात आढळणाऱ्या काळ्या रेतीकडे ग्रेगरचे लक्ष वेधले व त्याच्या घटकांबद्दल कुतुहल निर्माण झाले. ही काळी रेती अगदी बंदुकीच्या दारूसारखी दिसे, पण तीमध्ये मळकट पांढऱ्या रंगाच्या रेतीचेही मिश्रण होते. ग्रेगरने त्यापैकी काळी रेती अलग करून तिचे विश्लेषण केले. ते केवढे अचूक होते ते पहा: त्यामध्ये ४० $\frac{९}{१६}$ टक्के ($\frac{९}{१६}$ हा हिस्सा मोठा लक्षणीय आहे) आयर्न ऑक्साइड, ३$\frac{१}{२}$ टक्के सिलिका आणि १५ टक्के भाग, ग्रेगरच्या मते तांबूस-तपकिरी रंगाच्या चुनखडीचा होता. ४$\frac{१६}{१५}$ भाग विश्लेषण कामात वाया गेला. या यादी-तील तांबूस-तपकिरी रंगाच्या चुनखडीचा उल्लेख विशेष ध्यानात घेण्याजोगा आहे. सल्फ्यूरिक आम्लात तो विरघळून पिवळ्या रंगाचा द्राव मिळाला, आणि त्यावर जस्त, कथील किंवा लोहाच्या परिणामामुळे तो जांभळ्या किंवा अंजिरी रंगाचा झाला. आपले हे निष्कर्ष सांगणारा एक लेख ग्रेगरने प्रसिद्ध केला. तो फारच संयमशील वृत्तीचा पडल्यामुळे असेच समजला की आपले हे संशोधन अपूर्ण स्वरूपाचे आहे. त्याने केवळ काही वस्तुनिष्ठ घटना मांड-ल्या आणि त्यांचे स्पष्टीकरण देणे हे अधिक विद्वान शास्त्रज्ञांचे काम आहे असाच जणू एकंदर प्रकाराचा अर्थ ठरला.

डी. हॉकिन्स या ग्रेगरच्या खनिजतज्ज्ञ स्नेह्याने त्यास असे खात्रीपूर्वक सांगितले की ही काळी रेती म्हणजे एका अज्ञात, नव्या खनिजाचा प्रकार आहे. ग्रेगरपेक्षा खनिजशास्त्राचे अधिकच ज्ञान असणाऱ्या या व्यक्तीने त्यास असेही सांगितले की या काळ्या रंगी वाळूत एक नवा धातुवर्गीय पदार्थ आहे. त्यास ग्रेगरने "मेनैसिन" हे ती वाळू सापडलेल्या जागेचेच नाव सुचविले आणि वाळूस, म्हणजेच खनिजास मेनासाइट (किंवा मेनॅसोनाइट) असे नाव सुचविले. आज या वाळूचे इल्मेनाइट हे नाव असून त्याचे $FeTiO_3$

असे रासायनिक सूत्र आहे. या सर्व हकिकतीवरून असेच दिसते की टिटॅनि-अमचा शोध १७९१ मध्ये डब्ल्यू. ग्रेगरने लावला.

तथापि, शास्त्राचे अनेक इतिहासकार एम्. क्लॅप्रॉथ हाच टिटॅनिअमचा खरा संशोधक होय असा विश्वास बाळगतात. कसेही असले तरी ग्रेगरच्या कार्याची गुणवत्ता निश्चितपणे वादातीत आहे. एवढे मात्र खरे की हा इंग्रज पाद्री अति नम्र व महत्त्वाकांक्षाविरहित होता. क्लॅप्रॉथ वेगळ्या रस्त्याने जाणारा व वेगळ्या स्वभावाचा होता. त्याने ग्रेगरचा लेख निश्चितपणे वाचला, पण त्यातील मर्म त्यास लगेच आकलन झाले नाही. १७९५ मध्ये हंगेरीतून आणलेल्या एका नव्या खनिजापासून नव्या मूलद्रव्याचे ऑक्साइड वेगळे करण्यात क्लॅप्रॉथ यशस्वी झाला. आज हे खनिज रूटाइट (TiO_2) म्हणून ओळखले जाते. क्लॅप्रॉथने वेगळे केलेले ऑक्साइड व ग्रेगरची मेनासिन-मृत्तिका हे दोन्ही पदार्थ अगदी समानस्वरूपी असल्याचे निष्पन्न झाले. लगेच क्लॅप्रॉथने प्रस्थापित केले की त्याने व ग्रेगरने एकच मूलद्रव्य शोधून काढले आहे.

क्लॅप्रॉथने, पृथ्वीदेवता गी हिच्या टायटन नामक मुलाच्या स्मरणार्थ या मूलद्रव्यास "टायटॅनिअम" असे नाव दिले. शुद्ध, धातुरूप टिटॅनिअम मिळविणे शक्य झाले ते केवळ १९१० मध्येच.

क्रोमिअम

सैबेरिया ही क्रोमिअमची जन्मभूमी म्हणता येईल, ती कशी ते आपण नंतर पाहूच. या ठिकाणी १८ व्या शतकात रेड लेडचे खनिज समजले गेलेले क्रोकॉइट हे खनिज तेथे सापडे. क्रोमिअमची इतर काही खनिजे तत्पूर्वीही माहीत होती. यात तसे नवल वाटण्याचे कारण नाही. कारण क्रोमि-अम हे पृथ्वीच्या कवचातील एक विपूल (०.०२%) मूलद्रव्य आहे तरीपण निदान ऑक्साइडच्या स्वरूपातसुद्धा क्रोमिअम वेगळे करणे हे त्या वेळच्या रसायनज्ञांना शक्तीबाहेरचेच काम होते. क्रोमिअम संयुगे जरी वेगवेगळ्या रंगांची असली तरी शास्त्रज्ञांचे लक्ष वेधण्यास ही आगळी वस्तुस्थिती काही पुरेशी पडली नाही.

यास अपवाद एकच, तो म्हणजे क्रोकॉइटचा. सेंट पीटर्सबर्गमध्ये राह-णाऱ्या आय. लेह्मान या जर्मन रसायनज्ञाने त्याचे प्रथमच विश्लेषण केले.

या खनिजावर हायड्रोक्लोरिक आम्लाची प्रक्रिया करून लेह्मानने पाचूच्या रंगाचा एक अतिमोहक द्राव मिळविला. पण त्याचा निष्कर्ष मात्र चुकीचा ठरला; तो म्हणजे क्रॉकॉइटमध्ये शिसे असून त्यात अशुद्ध द्रव्यांची भेसळ आहे. ही अशुद्ध द्रव्ये खरे पाहता निव्वळ क्रोमिअमच असणार, कारण क्रोकॉइट रासायनिकदृष्टया $PbCrO_4$ होय. एकूण आय. लेह्मानच्या नशिबात या खनिजाची घटकद्रव्ये ठरविण्याचा योग नव्हता तर.

पुढे १७७० मध्ये दुसऱ्यांदा क्रोकॉइटच्या अभ्यासाकडे लक्ष वळले. सेंट पीटर्सबर्गचा विद्वान-ॲकॅडेमिशिअन — पी. एस्. पॅलास हा उराल पर्वतराजीतील बेरेझोव खाणींचा आढावा घेत असता तेथील खनिजाबद्दल म्हणतो: "हे शिशाचे खनिज वेगवेगळ्या रंगात आढळते पण बरेचदा ते सिन्नाबार-प्रमाणे दिसते. या वजनदार खनिजाचे स्फटिक अनियमित आकाराच्या पिरॅमिडप्रमाणे (पृष्ठचितीप्रमाणे) असून ते क्वार्ट्झमध्ये छोटया माणकांप्रमाणे रूतलेले सापडतात."

पी. एस. पॅलास हा एक पर्यटक, भूगोलतज्ज्ञ, खनिजतज्ज्ञ असा बहुश्रुत होता, पण तो रसायनज्ञ मात्र नव्हता. पण पश्चिम युरोपातील प्रयोगशाळांमध्ये क्रोकॉइटचा जर कुणी परिचय करून दिला असेल तर तो पॅलासनेच. असाच एक नमुना सुप्रसिद्ध रसायनज्ञ एल्. व्हॅक्वेलिन याच्या हाती पडला.

आय. लेह्मानने जो क्रोकॉइटचा अभ्यास केला त्यानंतर तीन दशके उलटली होती. या काळात शास्त्रज्ञांनी क्रोकॉइटमधली घटकद्रव्ये ठरविण्याचे पुन:पुन्हा प्रयत्न केले, पण त्यामध्ये एखादे नवे मूलद्रव्य असण्याबाबतचा निष्कर्ष काढण्यात असफल ठरले. त्यांच्या प्रयत्नांचे निष्कर्षही मोठे परस्परविरोधी होते. उदाहरणार्थ, एक रसायनज्ञ म्हणतो की या शिशाच्या खनिजात मॉलिब्डिक आम्ल, निकेल, कोबाल्ट, लोह आणि तांबे आहे. आपल्या सुरुवातीच्या प्रयोगांमध्ये एल्. व्हॅक्वेलिननेसुद्धा अशाच चुका केल्या व या खनिजात (क्रोकॉइटमध्ये) लेड डायॉक्साइड, लोह आणि ॲल्युमिन्स असल्याचे तो सांगतो.

पण नंतर १७९७ मध्ये क्रोकॉइटचा काळजीपूर्वक आणि अधिक शास्त्रशुद्ध अभ्यास करण्याचा या फ्रेंच रसायनज्ञाने निश्चय केला. टप्प्याटप्प्याने इतरांचे सर्व विश्लेषणात्मक निष्कर्ष निरर्थक असल्याचे दाखवून दिले आणि अखेर

तो अशा निष्कर्षाप्रत आला की क्रोकॉइटमध्ये एक नवाच धातु असून त्याचे गुणधर्म इतर सर्व धातूंपेक्षा अगदीच वेगळे आहेत.

एल. व्हॅक्वेलिनने चूर्णरूप क्रोकॉइट पोटॅशिअम कार्बोनेटसह उकळले. यातून लेड कार्बोनेट आणि एक पिवळा द्राव मिळाला व त्यामध्ये या शास्त्रज्ञाच्या मते कोणत्यातरी अज्ञात आम्लाचा पोटॅशिअमक्षार होता. त्यामध्ये वेगवेगळी अभिक्रियाकारक संयुगे मिसळली असता हा द्राव भिन्नभिन्न रंगांचा होत गेला. पाऱ्याच्या (मर्क्युरिक) क्षारांमुळे लाल रंगी साखा मिळाला, शिशाच्या क्षारांमुळे पिवळा साखा तर टिन क्लोराइडमुळे द्राव हिरव्या रंगाचा बनला. हे सारे निष्कर्ष पाहून व्हॅक्वेलिनची चांगलीच खात्री झाली की आपण एका नव्या मूलद्रव्याबाबत हे प्रयोग हाताळत आहोत. एकदा हे निश्चित झाल्यावर ते ऑक्साइडच्या स्वरूपात वेगळे करणे तसे सोपे होते.

अनेक वर्षांनंतर डी. आय. मेंदेलेयेव आपल्या "रसायनशास्त्राची मूलतत्त्वे" या पुस्तकात लिहितात की उरालमधल्या ताम्रवर्णी क्रोमिअम-खनिजामुळे किंवा क्रोमिअम-लेड क्षारामुळे व्हॅक्वेलिन यास क्रोमिअम शोधण्याचा मार्ग सापडला. व्हॅक्वेलिनने क्रोमिअम हे नाव "रंग" या अर्थी ग्रीक शब्द "क्रोमा" यापासून तयार केले कारण या धातूच्या उजळरंगी संयुगांशी तो चांगलाच परिचित होता. तथापि, कुणावर वृथा अन्याय होऊ नये म्हणून हे पण नमूद केले पाहिजे की या नव्या मूलद्रव्यास क्रोमिअम हे नाव व्हॅक्वेलिनचेच देशबांधव ए. फोरक्रॉय आणि आर. हे यांनी सुचविले. तसेच एम्. क्लॅपरॉथ याने व्हॅक्वेलिनच्या अपरोक्ष आणि अगदी त्याच्याच शोधाच्या वेळी क्रोकॉइटमध्ये एका नव्या धातूचे अस्तित्व असल्याचे सिद्ध केले. एवढे मात्र खरे की व्हॅक्वेलिनएवढे सुस्पष्टपणे त्याने ते दाखविले नाही.

शुद्ध धातुरूप क्रोमिअम मिळविण्याचे अनेक प्रयत्न असफलच ठरले. खुद्द व्हॅक्वेलिननेही तसा प्रयत्न केला होताच. पण त्याची शुद्ध प्रत म्हणजे बव्हंशी क्रोमिअम कार्बाइड असावे.

बेरिलिअम

ॲकॅडेमिशियन ए. इ. फर्समान हे विख्यात रशियन भू-रसायनशास्त्रज्ञ बेरिलिअमचे वर्णन "सैद्धांतिक व व्यावहारिकदृष्ट्या अत्यंत महत्त्व असणारे मूलद्रव्य" असे करतात. तथापि बेरिलिअमचा कोणताही गुणधर्म वैशिष्ट्यपूर्ण आहे असा काही प्रकार नसून इतर धातूंप्रमाणेच त्याचे गुणधर्म आहेत.

वैशिष्टय जर कोणते असेलच तर त्यामध्ये निरनिराळया उपयुक्त गुणधर्मांचा आढळणारा सुरेख संगम हे होय. (निसर्गाने तसे हेतुपुरस्सर घडवून आणले की काय कोण जाणे.) एखाद्या मूलद्रव्याच्या गुणधर्माचा त्याचा इतिहासावर कसा प्रभाव पडतो हे पहावयाचे असेल तर बेरिलियमचे उदाहरण घ्यावे. त्याच्या रासायनिक प्रवृत्तीचा विचार करता त्याचे ॲल्युमिनिअमशी (आवर्ती कोष्टकातील त्याचा शेजारी पण तिरप्या दिशेत असणारा) जेवढे साम्य आहे तेवढे त्याच्या समान धर्मी व त्याच्याच गटातील शेजारी अशा मॅग्नेशिअमशी मात्र नाही. म्हणूनच की काय, ॲल्युमिनिअमचे बेरिलिअमवर (आणि झिर्कोनिअमवरही) त्यांना जणू दडविणारे आच्छादन बऱ्याच काळापर्यंत पडले होते. खनिजांमधले त्यांचे अस्तित्व यामुळेच शास्त्रज्ञांच्या लक्षात येत नव्हते.

आणखी एक विशेष म्हणजे बेरिलिअम हे उभयधर्मी (अल्कधर्मी व आम्लधर्मीही) असल्यामुळे त्याची शुद्ध स्वरूपातील संयुगे मिळविणे बऱ्याच काळापर्यंत सहजसाध्य होत नव्हते. परिणामी या मूलद्रव्याचे अनेक गुणधर्म, विशेषत: त्याची संयुजा व अणुवस्तुमानांक चुकीचे ठरविले गेले. उघडच आहे की त्यामुळे आवर्ती कोष्टकात त्याची जागा बराच काळ निश्चितच झाली नाही. अखेर जेव्हा असे पक्केपणे ठरले की हे मूलद्रव्य द्विसंयुजी आहे, त्याच्या ऑक्साइडचे सूत्र BeO आहे आणि अणुवस्तुमानांक ९.०१ आहे, तेव्हा मग आवर्ती कोष्टकातील दुसऱ्या गटाची अगदी वरची "खोली" त्यास नेहमीकरता व कायमची दिली गेली. या कामातील सिंहाचा वाटा मात्र रशियन शास्त्रज्ञ आय. व्ही. ॲव्हदीव यांच्याकडे जातो.

फार पूर्वीपासून वैदूर्य (बेरिल) आणि पाचू (एमेराल्ड) हे मौल्यवान खडे म्हणून लोकांना ज्ञात होतेच, म्हणजेच बेरिलिअमचा (खनिजांचा) इतिहास फार पूर्वीच्या काळापासून सुरू झाला असे साहजिकच अनुमान निघते.

अशा या खनिजांचा अभ्यास सर्वप्रथम बर्लिन ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसचे रसायनशास्त्राचे प्राध्यापक एफ. आर्चर्ड यांनी १७७९ मध्ये केला. तत्पूर्वी साखरी बीटपासून साखर तयार करण्याची औद्योगिक पद्धत विकसित करण्याबाबत ते प्रसिद्ध पावलेच होते. त्यांनी बेरिलची सहा विश्लेषणे केली. आजच्या आधुनिक भाषेत त्यांचे निष्कर्ष असे सांगता येतील की बेरिलमध्ये २१.७% सिलिकॉन डायॉक्साइड, ६०.०५% ॲल्युमिनिअम ऑक्साइड, ५.०२% आयर्न ऑक्साइड आणि ८.३% कॅल्शिअम ऑक्साइड होते. लक्षात घ्या की या सर्वांची बेरीज ९५.०७% इतकीच भरते (म्हणजे

पाच टक्क्यांचा पत्ता लागत नाही). तथापि आर्चर्डनी याबाबत कोणतेच स्पष्टीकरण दिले नाही.

हेच निष्कर्ष १७८५ मध्ये जे. बाईंडहेम यांनीही दिले, पण ज्यांच्या टक्केवारीची बेरीज १०१ भरली! थोडक्यात, बेरील खनिजांमध्ये कोणालाच काही खास असे आढळले नाही.

१९१७ मध्ये एम्. क्लॅपरॉथ यास रशियन वकीलातील वकील व लेखक डी. गॉलिट्सिन याजकडून पेरूदेशीय एमेराल्ड खनिजे मिळाली व त्याने त्यांचे विश्लेषण केले. यावेळेपावेतो क्लॅपरॉथने युरेनिअम, टायटॅनिअम आणि झिर्कोनिअम यांचा शोध लावला होता व एक वाकबगार विश्लेषक म्हणून ख्यातनाम झाला होता. पण या शास्त्रज्ञासही १०० टक्क्यांचा हिशेब लावता आला नाही (६६.२५% सिलिका, ३१.२५% अॅल्युमिना, ०.५% आयर्न ऑक्साइड -- एकूण ९८% हे दोन टक्के कुठे गायब झाले हे काही त्या शास्त्रज्ञाला उमगले नाही आणि त्याचे त्याने काहीच स्पष्टीकरण दिले नाही. एकूण, चौथ्या मूलद्रव्याच्या शोधाचा शिरपेच खोवण्याचे काही त्याच्या हाती नव्हते.

याच वेळी, क्लॅपरॉथपेक्षा तसूभरही कमी वाकबगार नसलेला असा एल. व्हॅक्वेलिन हा दुसरा एक शास्त्रज्ञ याच कामात गुंतला होता. १७९३ पासून सुरुवात करून बेरिल व एमेराल्ड या खनिजांचा विश्लेषणात्मक अभ्यास त्याने चालूच ठेवला. पण व्हॅक्वेलिनला नेहमीच्या घटकद्रव्यांशिवाय (सिलिका, अॅल्युमिना, लाइम, आयर्न ऑक्साइड) वेगळे काहीच सापडले नाही. पुढे मात्र त्याच्या ध्यानात आले की ज्याचे गुणधर्म पूर्वीच माहीत असणाऱ्यांशी अगदी मिळतेजुळते आहेत अशा नव्या पदार्थाची कल्पना करणे केवढे अवघड काम असते. अॅल्युमिनियम ऑक्साइड आणि अज्ञात अशा बेरिलिअमचे साम्य या ठिकाणी त्या शास्त्रज्ञास अभिप्रेत होते.

एकूण घटनांची थोडी पूर्वकल्पना करता आपणास असे म्हणता येईल की व्हॅक्वेलिन हा बेरिलिअमचा खराखुरा शोधक होय. या शोधाचे एकूण तर्कशास्त्र तसे सोपे मुळीच नाही आणि ते या शास्त्रज्ञास न्यायच देणारे ठरते. त्याने पुढीलप्रमाणे समर्थन केले: एकंदर घटकद्रव्ये आणि त्यांच्या स्फटिकांचे आकार याबाबत बेरिल व एमेराल्ड यात अगदी समानता आहे. स्फटिकाचे आकार तरी अगदी एकसारखे आहेत यात शंका नाही पण घटकद्रव्यांचे काय? व्हॅक्वेलिनच्या आधीच्या सर्व संशोधकांना तर सारखीच घटक-

द्रव्ये (अॅल्युमिना, सिलिका व चुनखडी) दोहोत सापडली पण त्याचप्रमाणे वेगवेगळीही आढळली.

आपल्या पहिल्या काही प्रयोगांनंतर व्हॅक्वेलिनने ठरविले की घटकद्रव्यांच्या प्रमाणात एवढा फरक का पडावा. असे तर नसेल की या खनिजांमध्ये "एखादे" वेगळेच, अज्ञात घटकद्रव्य असेल, पण प्रयोगांतील अभिक्रियात ते नष्ट होत असावे किंवा, एखाद्या "घटकामागे लपून" रहात असावे? (उदा. अॅल्युमिना!)

१७९७ मध्ये व्हॅक्वेलिनने क्रोमिअम शोधले हे आपणास ठाऊक आहेच. त्या कामाची काही मानसिक व वैचारिक पार्श्वभूमी त्यास आनायसे लाभली होती. त्याने पाहिले की क्रोमिअममुळे एमेराल्डला जो हिरवट रंग प्राप्त होतो तो बेरिलमध्ये नसतो. यावरून बेरिल व एमेराल्ड यातील फरक प्रस्थापित झालेलाच आहे. पण केवळ क्रोमिअमच या फरकास कारणीभूत असेल असे कसे म्हणता येईल? १४ फेब्रुवारी १७९८ हा दिवस बेरिअमचा जन्मदिन समजला पाहिजे. त्या दिवशी व्हॅक्वेलिनने, पॅरिस अॅकॅडेमी ऑफ सायन्सेसपुढे आपला, "अॅक्वामरिन ऊर्फ बेरिल व त्यात असणाऱ्या एका नव्या मृत्तिकेचा शोध" याबाबतचा अहवाल सादर केला. त्यावेळी जमलेल्या विद्वतसभेस, त्याने आपण पाच वेळा कशी विश्लेषणे केली, जो जो ती करत गेलो तो तो नव्या मृत्तिकेच्या अस्तित्वाबाबत आपली कशी दृढ खात्री होत गेली याची माहिती दिली. पहिले निष्कर्ष कसे होते हे पण त्याने पुढील प्रमाणे सांगितले:

बेरिल: ६९ भाग सिलिका,
२१ भाग अॅल्युमिना,
८-९ भाग चुनखडी
आणि १.५ भाग आयर्न ऑक्साइड.

एमेराल्ड: ६४ भाग सिलिका,
२९ भाग अॅल्युमिना,
२ भाग चुनखडी,
३-४ भाग क्रोमिअम ऑक्साइड आणि
१-२ भाग पाणी.

वरील दोन्ही बाबतीत, अंत:स्फूर्तीने म्हणा किंवा इतर कोणत्यातरी कारणामुळे म्हणा, पण व्हॅक्वेलिनने असे सांगितले की, त्यांच्यातील ॲल्युमिनामध्ये "अशुद्ध द्रव्य" असले पाहिजे. त्याचे ॲल्युमिनाशी फारच साम्य असावे असे वाटते, कारण त्यामुळेच ते शोधणे अवघड होत आहे. अशा या चमकदार अंत:स्फूर्तीमुळे, विश्लेषणकार्यात निपुण असणाऱ्या या शास्त्रज्ञास ते "अशुद्ध द्रव्य" (नवा मृत्तिका-प्रकार ऊर्फ बेरिलिअम ऑक्साइड) शोधता आले, की ज्यापासून ॲल्युमिनाप्रमाणे तुरटी (ॲलम) तयार होत नव्हती! पुढे या शास्त्रज्ञास इतरही फरक सापडले. एवढे मात्र खरे की साधर्म्यामुळे ॲल्युमिनामागे "लपलेल्या" बेरिलिअमचे फरक दीर्घकाळ समजू शकले नाहीत आणि म्हणूनच ते ॲल्युमिनामागे दीर्घकाळ "लपून" राहिले. जर ही मृत्तिका ॲल्युमिना नाही, तर ती इतरही कोणत्याच ज्ञात प्रकारची नाही कारण ती सर्वांपेक्षा भिन्न आहे. व्हॅक्वेलिनने या विचारानुसार या नव्या मूलद्रव्यास "ग्लूसिनिअम" (Gl) असे नाव सुचविले व ते "गोड" या अर्थी असणाऱ्या ग्लाय्किस या ग्रीक शब्दावर आधारलेले आहे. सध्याचे "बेरिलिअम" हे प्रचलित नाव एम्. क्लॅप्रॉथने सुचविले कारण त्याने बरोबर हेरले की इतर काही मूलद्रव्यांची काही संयुगेही गोड चवीची आहेत.

ऐतिहासिकदृष्ट्या मनोरंजक ठरेल अशी एक वस्तुस्थिती ही की इ. पॅट्रेन नामक एका फ्रेंच खनिजतज्ज्ञाने व पर्यटकाने अल्ताई पर्वतमय प्रदेशात सापडलेले बेरिल खनिज व्हॅक्वेलिनला नजर केले होते व तेच व्हॅक्वेलिनने विश्लेषणार्थ वापरले.

जर्मन रसायनज्ञ व गॉटिंजेन येथील रसायनशास्त्राचे प्राध्यापक आय. मेलिन यांनी व्हॅक्वेलिनच्या शोधास पुष्टीच दिली. त्यांनी सैबरियातील (नर्चिन्स्क) बेरिलचे विश्लेषण केले व त्यांनाही व्हॅक्वेलिनप्रमाणेच निष्कर्ष मिळाले. पुढे १८२८ मध्ये एफ. वोलर आणि इ. बझी यांनी धातुस्वरूपात बेरिलिअम वेगळे केले व त्यासाठी त्यांनी पोटॅशिअम धातूबरोबर बेरिलिअम क्लोराइड वापरले. बेरिलिअमच्या शोधानंतर तीस वर्षांनी हे घडले.

निओबिअम आणि टॅंटॅलम

या दोन मूलद्रव्यांचा सुरुवाती सुरुवातीचा इतिहास एवढा एकमेकात गुंतलेला आहे की त्यांचा एकेकाचा स्वतंत्रपणे विचार करताच येणार नाही किंवा उचितही ठरणार नाही. ज्या २६ नोव्हेंबर १८०८ रोजी चार्लस हॅचेट याने एका नव्या मूलद्रव्याच्या शोधाबाबत रॉयल सोसायटीस आपला अहवाल सादर केला त्याच दिवसापासून या मूलद्रव्यांच्या समाईक इतिहासास सुरुवात झाली. पण अशा तऱ्हेचे अहवाल सादर करणे व शोधांची माहिती देणे यात लोकांना नाविन्य किंवा नवलाई वाटण्याचे दिवस केव्हाच संपले होते. "उत्तर अमेरिकेत आढळलेल्या खनिजाचे विश्लेषण व त्यातील अज्ञात धातु" या हॅचेटच्या अहवालास लोकांचा थंड प्रतिसाद मिळाला. हे खरे की हॅचेटला मिळालेला नमुना अमेरिकेतील (त्यावेळचे "नवे जग") जरूर होता पण हॅचेटला मात्र अगदी नजीकच्या ठिकाणाहून म्हणजे ब्रिटिश म्युझियममधून मिळाला होता. "विंट्रॉप याने मॅसाच्युसेट्स येथून पाठविलेले कृष्णवर्णी खनिज" अशी त्याबाबत म्युझियमच्या सूचीत नोंद आहे.

आपल्या अभ्यासाचा पदार्थ म्हणजे सैबेरियातील क्रोमिअम खनिजाचा नमुना आहे असेच हॅचेट प्रथम समजला आणि त्यापासून क्रोमिक आम्ल वेगळे करण्याचा तो प्रयत्न करू लागला. पण एकंदर प्रकार काही वेगळाच असावा असे वाटू लागले. आता हे माहीत झाले आहे की मॅसाच्युसेट्सच्या या खनिजात धातूंचे वेगवेगळे प्रकार असून त्यातील एखादे नवे मूलद्रव्य (असल्यास!) वेगळे करणे हे काही साधेसुधे काम नव्हते. त्या खनिजात क्रोमिक आम्ल नव्हतेच व आपण जे संयुग वेगळे केले ते क्रोमिक आम्ल नसून एका अज्ञात धातूचे ऑक्साइड आहे असा हॅचेटने निष्कर्ष काढला. ज्या ठिकाणी हे खनिज आढळले त्या कोलंबिया (अमेरिकेचे पूर्वीचे नाव आणि कोलंबस यावरून) देशाच्या सन्मानार्थ खनिजास "कोलंबाइट" हे नाव त्या इंग्रज शास्त्रज्ञाने दिले आणि मूलद्रव्यास "कोलंबिअम" म्हटले. एक वर्षानंतर म्हणजे १८०२ मध्ये एक घटना अशी घडली की जीमुळे कोलंबिअमच्या शोधकार्यास एक वेगळीच कलाटणी मिळाली. त्याचे असे झाले की १८०२ च्या डिसेंबरमध्ये स्विडिश रसायनज्ञ ए. एकबर्ग याने इटरबुल खेड्यानजिक आढळलेल्या एका खनिजप्रकारचे जे विश्लेषण केले त्यात

त्यास एका नव्या धातूच्या ऑक्साइडचा शोध लागला. हे शुभ्रवर्णी ऑक्सा-इडद्रव्य तीव्र आम्लांच्या केवढ्याही साठ्यात न विरघळणारे ठरले!

हे ऑक्साइड विरघळविण्याचे सारे प्रयत्न निष्फळ ठरले, पण त्यामुळे या नव्या धातूस काय नाव द्यावे हा प्रश्न सुटला व एकबर्गने "टँटॅलसच्या छळणुकी"च्या कथेवरून "निरर्थक व निरूपयोगी कार्य" अशा अर्थी "टँटॅलम" हे नाव दिले आणि खनिजास "टँटालाइट"-म्हटले. एकबर्गची पक्की खात्री होती की आपण एका नव्या मूलद्रव्याचा खचितच शोध लावला आहे व त्याच्या या मताशी अनेक शास्त्रज्ञ सहमतही होते. तथापि या सर्वांपेक्षा व्ही. वोलॅस्टन या इंग्रज रसायनज्ञाचे निष्कर्ष फारच धक्कादायक ठरले. १८०९ मध्ये त्याने प्रसृत केले की कोलंबिअम आणि टँटॅलम यामध्ये त्याला काहीही फरक आढळला नाही, ही दोन्ही मूलद्र-व्ये म्हणजे एकच प्रकार आहे. या दोन धातूंची ऑक्साइडे सारख्याच घनतेची असून त्यांचे रासायनिक गुणधर्मही या रसायनज्ञास एकसारखेच आढळले. यावर त्याने "कोलंबिअम व टँटॅलम यांच्या समान स्वरूपावर" असा लेखही प्रसिद्ध केला. या साऱ्याचा अर्थ असाच होतो की ए. एकबर्गने कोलंबिअमचा निव्वळ पुनर्शोध लावला आणि चार्ल्स हॅचेटन लावलेल्या शोधास पुष्टी दिली.

बर्झेलियसने वेगळा दृष्टिकोन स्वीकारला. नव्या मूलद्रव्यास एकबर्गने जे "टँटॅलम" हे नाव दिले होते त्यास त्याने पाठिंबा दिला आणि असेही म्हटले की इंग्रज आणि स्विडिश रसायनज्ञांनी जी नावे दिली त्या दोहोंचाही एकत्रित उल्लेख इतिहासात झाला पाहिजे. १८१४ च्या हिवाळ्यात स्कॉटिश रसायनज्ञ थॉमस थॉमसन (डाल्टनच्या अणु-सिद्धांताचा पहिला पुरस्कर्ता) यास लिहिलेल्या खाजगी पत्रात बर्झेलियस म्हणतो की हॅचेटच्या कार्याचे मूल्य मला कोणत्याही प्रकारे कमी लेखावयाचे नाही, पण त्याच वेळी एक कर्तव्याचा भाग म्हणून मला अशी नोंद केली पाहिजे की एकबर्गच्या संशोध-नाआधी टँटॅलम आणि त्याच्या ऑक्साइडचे गुणधर्म अजिबात माहीत नव्हते. बर्झेलियस असे समजला की हॅचेटप्रणित कोलंबिक आम्ल हे टँटॅलम ऑक्साइड व टंगस्टिक आम्ल यांचे मिश्रण आहे, पण अल्पावधीतच हे स्पष्ट झाले की कोलंबिअममध्ये टंगस्टन मुळीच नव्हते.

पुढे तीन दशकांनंतर एच्. रोझ या बर्झेलिअसच्या एका शिष्याने हा वादग्रस्त मुद्दा कायमचा निकालात काढला त्याने असे सिद्ध केले की टँटॅलम

आणि कोलंबाइट एकसमान नाहीत. म्हणजेच, हॅचेट व एकबर्ग यांनी दोन वेगवेगळीच मूलद्रव्ये शोधून काढली.

वेगवेगळ्या ठिकाणच्या साठ्यातील मिळालेल्या कोलंबाइट व टँटॅलाइट खनिजांचे नमुने घेऊन रोझने त्यांचे विश्लेषण केले. प्रत्येक वेळेस एक अशी विशेष गोष्ट त्यास दिसून आली की टँटॅलमबरोबरच खनिजात आणखी एक वेगळेच मूलद्रव्य आढळत असून अगदी टँटॅलमप्रमाणेच त्याचेही गुणधर्म आहेत. या "तऱ्हेवाईक व्यक्तीचे" रोझने "निओबिअम" (निओब ही टँटॅलमची मुलगी होती) असे नाव ठेवले. १८४५ च्या उन्हाळ्यात, हॅचेटला ज्यात कोलंबिअम सापडले होते त्याच खनिजाचा रोझने काळजीपूर्वक अभ्यास केला व त्यापासून निओबिअम ऑक्साइड अलग केले. त्याचे स्वरूप कोलंबिअम ऑक्साइडप्रमाणेच होते.

अशा प्रकारे सारा गोंधळ व संदिग्धता अखेर संपुष्टात आली. ती निर्माण होण्याचे कारण म्हणजे निओबिअम व टँटॅलम यांचे अगदी मिळते-जुळते गुणधर्म आणि दोघांचेही कोलंबाइट व टँटॅलाइट खनिजात हमखास आढळणारे एकत्रित अस्तित्व! खरे पाहता हॅचेट आणि एकबर्गने दोन्ही मूलद्रव्यांचा एकाच वेळी शोध लावला होता पण दोघांनाही त्यातील फरक ओळखता आला नाही हॅचेटने जे खनिज अभ्यासिले त्यात निओबिअम (कोलंबिअम) निश्चितच अत्यधिक प्रमाणात होते. यावरून असे म्हणावेसे वाटते की या दोन्ही मूलद्रव्यांच्या चरित्रात जर महत्त्वपूर्ण घटना कोणती असेल तर ती वेगळी करण्याची पद्धत अस्तित्वात येणे ही होय. हे काम १८६५ मध्ये जे. सी. गॅलिसार्ड द मेरिग्नॅक या स्विस (स्विट्झरलँडच्या) रसायनज्ञाने परिपूर्ण केले. त्याने यासाठी पोटॅशिअम फ्ल्युओटँटॅलेट व पोटॅशिअम फ्ल्युओनिओबेट यांची हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लात जी असमान द्रावणीयता (विरघळण्याचे वेगवेगळे प्रमाण) असते त्याचा उपयोग करून घेतला. त्याच वर्षी मेरिग्नॅकने या दोन्ही मूलद्रव्यांचे अचूक अणु-वस्तुमानांकही पहिल्यांदाच निश्चित केले. अनेक रसायनज्ञांनी ही दोन्ही मूलद्रव्ये शुद्ध स्वरूपात मिळविण्याचे प्रयत्न केले खरे पण एकमेकांची भेसळच मिळे, जणू तसा काही संकेतच होता. २० व्या शतकाच्या केवळ सुरुवातीसच अखेर अमेरिकेच्या डब्ल्यु. फॉन बोल्टन यांनी ९९ टक्क्यांपेक्षाही जादा शुद्धतेचे निओबिअम आणि टँटॅलम मिळविले.

प्लॅटिनमवर्गातील धातु

प्लॅटिनम धातूंच्या (रूदेनिअम, ऱ्होडिअम, पॅलॅडिअम, ओस्मिअम, इरिडिअम आणि प्लॅटिनम) शोधाचा इतिहास खोटया शोधानी पूरा भरलेला आहे. हे असे होण्याचे कारणही उघड आहे. एकतर त्यांच्या खनिजात प्लॅटिनम व इतर धातु यांचे अस्तित्व असल्यामुळे त्यांचा अभ्यास अनंत अडचणींनी भरलेला असे व त्यात येणारी वेगवेगळी अशुद्ध द्रव्ये वेगळी करणे हा संशोधनातील मोठाच अडसर ठरे. संशोधनपूर्व प्लॅटिनम धातु माणसाच्या कितीतरी आधी नजरेस पडला होता, पण तो वेगवेगळया अशुद्ध द्रव्यांनी परिपूर्ण होता. मुबलकतेचा विचार केल्यास या वर्गातील धातूंमध्ये प्रथम पॅलॅडिअमचा व नंतरच दुसरा क्रमांक प्लॅटिनमचा लागतो. खनिजांच्या साठ्यानुसार त्यातील या धातूंचा अंश चांगलाच कमीजास्त आढळतो. त्यामुळेच त्यांच्या इतिहासात अचानकता, योगायोग यांच्या घटना भरपूर आढळतात, तर कित्येकांचा थांगपत्ताही लागत नाही. यामुळेच प्लॅटिनम-च्या शोधाच्या तारखेबाबत अनिश्चितता असावी यात नवल काय ? शिवाय, किती प्रकारचे प्लॅटिनमधातु अस्तित्वात असावेत याचीच दीर्घकाळ कल्पना नव्हती. या वर्गातील धातूंमध्ये जे साम्य आढळते त्यामुळे तर हा गोंधळ अधिकच होत असे. तथापि रासायनिक विश्लेषण-पद्धतीतील प्रगतीमुळे त्या-पैकी चौघांचा – पॅलॅडिअम, ऱ्होडिअम, ओस्मिअम व इरिडिअम यांचा – शोध १९ व्या शतकाच्या अलिकडच्या काळातच लागला. मात्र, प्लॅटिनम-वर्गीय धातूंचा शोध यापूर्वीच कितीतरी आधी लागावयास हवा होता, पण केवळ तसा योगच आला नाही म्हणूनच ते जमले नाही असे अगदी शक्य वाटते. विशेषतः पॅलॅडिअमचे विपुल प्रमाण पाहता ही शक्यता अधिकच दृढ होते.

प्लॅटिनम

प्लॅटिनम वर्गातील सर्वप्रथम शोधला गेलेला पहिला धातु म्हणजे प्लॅटिनम होय. १७४८ हे त्याचे जन्मवर्ष समजले जाते. पण ते कितपत खरे असावे ?

प्राचीन ग्रीक व रोमन लोकांनी "इलेक्ट्रम" म्हणून ज्या मिश्रधातूचा उल्लेख केलेला आढळतो त्याचा संबंध शास्त्रज्ञ प्लॅटिनमशी लावतात. काही

जण असे समजतात की इजिप्शियनांनी तयार केलेला सोने-रूपे यांचा मिश्र-धातु म्हणजे इलेक्ट्रम होय. गॅलिशिया व पोर्तुगाल यांच्या वालुकामय प्रदेशात सापडलेल्या एका पांढऱ्या व वजनदार संयुगाचे थोरला प्लिनी वर्णन करतो पण ते बहुधा कथिलाचे खनिज असावे. शापेनापिट राणीच्या (ख्रि. पू. ७ वे शतक) थडग्यात प्लॅटिनमपासून तयार केलेली पेटी सापडल्याचे समजते.

१५५७ मध्ये इटालिअन शास्त्रज्ञ जी. स्कॅलिगेर याने द. अमेरिकेत आढळलेल्या एका नव्या शुभ्रवर्णी धातूचा उल्लेख केला. प्लॅटिनमबाबत निश्चि-तपणे केलेला हाच सर्वप्रथम उल्लेख होय. त्यानंतर दोन शतके उलटली. पुढे पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेस संस्थेने स्पॅनिश वसाहतींकडे शोधपथक पाठविले. या पथकात डॉन अँटोनिओ द डलोआ हा तरुण सैन्याधिकारी होता. मोहिमेवरून यशस्वीरित्या परतल्यावर त्याने "द. अमेरिकेच्या मोहि-मेचा ऐतिहासिक वृत्तांत" नामक एक पुस्तक लिहिले व ते माद्रिद येथे १७४८ मध्ये प्रकाशित झाले. त्यात तो लिहितो की चोकोप्रदेशात आपण सोन्याच्या अनेक खाणी पाहिल्या पण विशेष हे की त्यापैकी बऱ्याच खाणी बंद पडल्या होत्या ; अशासाठी की तेथील खनिजात प्लॅटिनमचे खूपच जादा प्रमाण होते. या धातूचा वितळणबिंदू अति उच्च असल्याची नोंद करणारा ए. डलोआ हा पहिला माणूस होय, म्हणूनच तो म्हणतो की खनिजापासून हा धातु अलग करणे म्हणजे महाकठीण काम होते. दोन वर्षांनी डब्ल्यु. वॉट्सन आणि डब्ल्यु. ब्राउनरिग या दोघा इंग्रज रसायनज्ञांनी या नव्या धातूंचा अभ्यास करण्यास सुरुवात केली व त्याबाबत पहिले शास्त्रशुद्ध विवे-चन केले. नोव्हेंबर १७५० मध्ये डब्ल्यु. वॉट्सनने तोपावेतो खनिज तज्ज्ञांना ठाऊक नसलेल्या व "प्लॅटिनो-डेल-पिंटो" या नावाने ओळखल्या गेलेल्या एका नव्या (अर्ध-धातुकाच्या) खनिजाचा शोध जाहीर केला.

या घडामोडींमुळे नव्या धातूच्या अधिक अभ्यासास चांगलीच गती मिळाली. १७५२ मध्ये स्विस रसायनज्ञ एच्. शेफर याने या "पांढऱ्या सोन्या"बद्दल ऊर्फ प्लॅटिनमबद्दल आपले सखोल संशोधन अहवालरूपाने प्रसिद्ध केले. त्यानंतर अनेक तत्सम निबंध प्रसिद्ध होत गेले व त्यापैकी दोन विशेष महत्त्वाचे ठरतात. १७७२ मध्ये सी. फॉन सिकिन्जेन याने प्लॅटि-नमच्या गुणधर्मांचा सखोल व विस्तृत अभ्यास केला. त्यात त्याने सोने व रूपे, त्याचबरोबर प्लॅटिनमचा मिश्रधातु तयार करण्याच्या शक्यतेवर आणि

ते आम्लराजमध्ये (अक्वा रेजिआ – नायट्रिक व हायड्रोक्लोरिक आम्ले – विरघळण्याच्या शक्यतेवरही विचार केला आहे. पण सर्वात महत्त्वाचा भाग म्हणजे अमोनिअम क्लोराइड द्रावणांमधून हा धातु निक्षेपित करण्याची (साक-रूपाने वेगळा करण्याची) पद्धत वापरणारा तो पहिला रसायनज्ञ होय. या अभिक्रियेचा प्लॅटिनमवर्गीय धातूंच्या अभ्यासात फार महत्त्वाचा उपयोग झाला. तथापि, सी. फॉन सिकिन्जेनचे निष्कर्ष १७८२ पावेतो प्रसिद्ध झाले नाहीत.

प्लॅटिनम अभ्यासाचे दुसरे पर्व पी. चॅबॅनिअन या नावाशी संबंधित आहे. निरनिराळ्या ठिकाणांहून (साठ्यामधून) उपलब्ध होणाऱ्या प्लॅटिनमवरील प्रयोगांच्या निष्कर्षात तफावत, विरुद्धता पहावयास मिळते याकडे त्याचेच प्रथम लक्ष वेधले. याचे साधे कारण आज आपणास सहज सांगता येते की तोपावेतो न शोधल्या गेलेल्या व सर्वांचे मिश्रण असणाऱ्या अशा प्लॅटिनम धातूशी चॅबॅनिअन प्रयोग करत होता, शुद्ध प्रतीशी नव्हे. उदाहरणार्थ ओस्मिअमच्या आभावी प्लॅटिनम अ-बाष्पनशील आणि न पेटणारा, पण त्याच ओस्मिअमच्या अस्तित्वामुळे हा मिश्रधातु बाष्पनशील आणि ज्वलनशील ठरतो.

पण या साऱ्या विवेचनात, प्लॅटिनमच्या शोधाची निश्चित तारीख कोणती हा प्रश्न शिल्लक राहतोच. शोध लागेपावेतो या धातूस अनेक प्रयोगांचे व विश्लेषणांचे गुंतागुंतीचे मार्गक्रमण करावे लागले आहे.

या सर्वांचा विचार करता १७५० हे वर्ष प्लॅटिनमच्या इतिहासात एक महत्त्वाची वर्षगाठ ठरते, या वर्षी हा धातु अभ्यासिला जाऊन त्याचे काटेकोर विवेचन पुढे आले.

पॅलॅडिअम

१७ व्या शतकाच्या अखेरीस ब्राझीलमधल्या खाण कामगारांचा एका अपरिचित मिश्रधातूशी संबंध आला. त्यास अनेक नावे होती व त्यामध्ये सोने आणि रूपे असावे असा समज झाला होता. कदाचित् खरी परिस्थिती अशी असावी की तो पॅलॅडिअम व सोने यांचा मिश्रधातु असावा. अर्थात् प्लॅटिनम-समूहातील धातूंपैकी दोन क्रमांकाचा शोध खरे तर १८०३ मध्ये लागला व त्यास इंग्रज रसायनज्ञ डब्ल्यु. वोलॅस्टन याचे कार्य कारणीभूत ठरले. कच्च्या म्हणजेच अशुद्ध प्लॅटिनमचा अभ्यास करतेवेळी ते त्याने आम्लराजात टाकले व विरघळविले त्यापैकी आम्लाचा जादा भाग काढून

टाकला व द्रावणात मर्क्युरी सायनाइड मिसळले त्यामुळे मिळालेला पिवळया रंगाचा साखा त्याने गंधक व टाकणखार (बोरॅक्स) यासह तापविला. तेव्हा त्यास धातूच्या चमकदार गोळया मिळाल्या. वोलॅस्टनने या नव्या धातूस "पॅलॅडिअम" असे नाव दिले. एक वर्षापूर्वीच डब्ल्यू. ओल्बर्स या खगोलशास्त्रज्ञाने "पॅलास" नामक लघुग्रह शोधल्याची घटना वोलॅस्टनसमोर ताजीच होती. त्याच्याच स्मरणार्थ हे नामकरण केले गेले. वोलॅस्टनच्या यशाचे रहस्य असे सांगता येईल की पॅलॅडिअमच्या अवक्षेपणास (साखा तयार होण्यास) अगदी योग्य अशा मर्क्युरी सायनाइडची योजना त्यास करता आली (की ते वापरण्याचे सुचले?). इतर प्लॅटिनम-धातूंचा या संयुगामुळे साखा मिळत नाही.

पॅलॅडिअमच्या शोधास काहीशी वैचित्र्यपूर्ण मार्गे प्रसिद्धी मिळाली. १८०४ मध्ये आर. केनेव्हिक्स या तरुण आयरिश रसायनज्ञाने "विक्रीकरता नवीन धातु" ऊर्फ प्लॅटिनम व पारा यांचा मिश्रधातु अशी 'जर्नल ऑफ केमिकल एज्युकेशन'मध्ये एक जाहिरात दिली. या नव्या धातूबाबत डब्ल्यु. वोलॅस्टनचे अर्थातच भिन्न मत होते आणि आपल्या शोधाची या जाहिरातीशी गल्लत होऊ नये म्हणूनही त्याने शोधाच्या समर्थनाचा पवित्रा घेतला. "कच्च्या (अशुद्ध) प्लॅटिनममध्ये सापडलेला नवीन धातु" म्हणून एक लेखही त्याने लिहिला व त्यात स्पष्टपणे नमूद केले की "विक्रीकरता" म्हटलेला व पॅलॅडिअम नाव ठेवलेला धातु प्लॅटिनम खनिजातील आहे, एवढेच की त्याचे प्रमाण अल्पसे असते.

समकालीन शास्त्रज्ञांनी (त्यामध्ये एल. व्हॅक्वेलिन याचाही समावेश होताच) वोलॅस्टनच्या या कामगिरीस फार सन्मानपूर्वक गौरविले आणि लगेच वोलॅस्टनने ऱ्होडियम या आणखी एका प्लॅटिनम वर्गातील धातूचा शोध लावल्यामुळे या गौरवात कौतुकास्पद भर पडली. प्लॅटिनमवर्गातील — प्लॅटिनम सोडता — पॅलॅडिअम धातु सर्वप्रथम वेगळा केला गेला याचे कारण असे सांगता येईल की या वर्गातील इतर सर्व धातूंपेक्षा त्याचे प्रमाण अतिशय विपुल असते. आणखी एक कारण हे की निसर्गात पॅलॅडिअम धातुरूपात म्हणजेच प्राकृतिक स्वरूपातही उपलब्ध आहे व तसे १८०९ मध्ये वोलॅस्टनने आणि १८२५ मध्ये ए. हंम्बोल्टने सिद्ध केलेच (उराल पर्वतराजीतील प्लॅटिनमचा शोध लागण्यापूर्वी ब्राझीलमधली प्लॅटिनम खनिजे हेच काय ते या पदार्थांचे एकमेव उद्‌गमस्थान होते).

ऱ्होडिअम

१८०३ च्या सुरुवातीस ऱ्होडिअमचा जो शोध लागला त्याची किल्ली पॅलॅडिअमच्या शोधात गवसली होती, पण मौजेची गोष्ट ही की या पॅलॅडि-अमची पुरती वाच्यताही झाली नव्हती.

अशुद्ध द्रव्यांनी युक्त असे द. अमेरिकेतील प्लॅटिनम हेसुद्धा ऱ्होडिअमचे पुरवठास्थान होते. मात्र ज्या नमुन्यातील पॅलॅडिअम वोलॅस्टनने संशोधिले त्याच नमुन्यापासून ऱ्होडिअमही त्याने वेगळे केले किंवा काय हे मात्र सांगता येत नाही. वोलॅस्टनने प्रथम जलराजमध्ये थोडे अशुद्ध प्लॅटिनम विरघळविले आणि त्यातील जादा आम्लाचे अल्कपदार्थाच्या सहाय्याने उदासीनकरण केले. नंतर प्रथम त्याने, प्लॅटिमन हे अमोनिअम क्लोरोप्लॅटिनेटच्या रूपात अवक्षे-पित होण्यासाठी (साख्याच्या रूपाने वेगळे होण्यासाठी) त्यामध्ये अमोनिअम क्षारद्रव्य मिसळले. उरलेल्या द्रावात मर्क्युरी सायनाइड मिसळले, (या ठिकाणी पॅलॅडिअम वेगळे करण्याचा पूर्वानुभव कामास आला) आणि पॅलॅडिअम सायनाइडचा साखा वेगळा केला. पुढे वोलॅस्टनने द्रावातील मर्क्युरी सायनाइडचा जादा भाग वेगळा काढला आणि द्राव कोरडा होईपर्यंत तापविला. यामुळे सुरेख काळा-तांबडा असा साखा तयार झाला आणि वोलॅस्टनच्या मते हा साखा म्हणजे सोडिअम व एका नव्या धातूचे क्लोराइडवर्गी संयुग होय.

हायड्रोजनच्या झोतात हा क्षारपदार्थ तापविला असता सहजगत्या विघ-टित झाला आणि एका धातूची पूड मिळाली (सोडिअम क्लोराइड अर्थातच काढून टाकले गेले). वोलॅस्टनने हा धातु लहान लहान गोळ्यांच्या स्वरूपातही मिळविला. तो मिळविण्याच्या विविध टप्प्यात जो पहिला क्षार मिळतो त्याच्या लाल रंगावरून (ग्रीक शब्द रोडॉन म्हणजे "गुलाब") "ऱ्होडिअम" हे नाव देण्यात आले.

ओस्मिअम आणि इरिडिअम

एकाच देशात (इंग्लंडमध्ये) अगदी एकसारख्या अशा नव्या चार मूलद्रव्यांचा शोध लागणे ही घटना विज्ञानाच्या इतिहासात खरोखरीच अभूतपूर्वच म्हटली पाहिजे, पॅलॅडिअम-ऱ्होडिअम यांचा शोध लावणाऱ्या

वोलॅस्टनच्या वेळीच एस. टेनंट हासुद्धा प्लॅटिनमगटातील धातूंचा अभ्यास करत होताच. हे खरे की ओस्मिअम आणि इरिडिअम यांच्या शोधाशी इतर शास्त्रज्ञांची नावे संबंधित असली तरी त्यासाठी सर्वात मोठा हातभार एस. टेनंटचाच लागलेला आहे.

प्लॅटिनमवर्गातील इतर धातूंसह विचार करता काही खास वैशिष्ट्ये असल्यामुळेच तत्संबंधित अशीच ओस्मिअम व इरिडिअम ही खास नावे मिळाली आहेत. ग्रीक शब्द "ओस्मी" म्हणजे "वास" यावरून ओस्मिअम हे नाव तयार झाले व त्यास कारण म्हणजे बाष्पनशील अशा ओस्मिअम ऑक्साइडला एक विशिष्ट वास असतो. इरिडिअमच्या क्षारांमध्ये इंद्रधनुष्याप्रमाणे (ग्रीक "इरिस" म्हणजे "इंद्रधनुष्य") विविधरंगी छटा आढळतात त्यामुळेच इरिडिअम हे नाव मिळाले. एखाद्या चित्रकारास या एकाच धातूमुळे सर्व रंगच्छटा उपलब्ध होतील, अर्थात त्या महागड्या नसाव्यात. वरील वैचित्र्यपूर्ण गुणधर्मांमुळेच या प्लॅटिनमवर्गीय धातूंच्या शोधांना चालना मिळाली.

डब्ल्यु. वोलॅस्टनप्रमाणेच एस. टेनंटनेही कच्चे – अशुद्ध – प्लॅटिनम जलराजमध्ये विरघळविले. पात्राच्या तळाशी त्यास धातूप्रमाणे चकाकणारा कृष्णवर्णी साखा आढळला. प्लॅटिनमवरील या आधीच्या प्रयोगांमध्येही असा साखा अनेकदा आढळलाच होता, पण त्यास ग्राफाइट समजले गेले. १८०३ च्या उन्हाळयात एस. टेनंटने असे सूचित केले की या साख्यात बहुधा एखादा नवा धातु असण्याची दाट शक्यता वाटते. पुढे त्याच वर्षी हिवाळयात फ्रेंच रसायनज्ञ एच. कोलेट – डेस्कॉटिज यानेही असाच निष्कर्ष काढला आणि अमोनिअम प्लॅटिनम क्षार-पदार्थांपासून तो लालरंगी साख्याच्या रूपाने वेगळा केला. एल. व्हॅक्वेलिनने आपल्या प्रयोगात ही कृष्णवर्णी पूड क्षारद्रव्यासह तापविली व बाष्पनशील असे ऑक्साइड मिळविले व्हॅक्वेलिनचे असे मत झाले की एच. डेस्कॉटीजने जो धातु सुचविला त्याचेच हे ऑक्साइड असावे. अशा तऱ्हेने टेनंटच्या कामामुळे संशोधनाची मालिकाच सुरू झाली. टेनंटने आपले प्रयोग चालूच ठेवले आणि १८०४ च्या वसंत ॠतूत ब्रिटिश रॉयल सोसायटीस आपल्या कार्याचे वृत्त सादर केले. त्यात त्याने म्हटले होते की या चूर्णात दोन नवे धातु असून ते फारसे प्रयास न पडता अलग करणे शक्य आहे. १८०५ मध्ये त्याने "प्लॅटिनम विरघळून तयार होणाऱ्या कृष्णवर्णी चूर्णात आढळणारे दोन धातु" हा निबंध प्रसिद्ध केला. या लेखात

"ओस्मिअम" आणि "इरिडिअम" या नावांचा पहिल्यांदाच उल्लेख झाला.

काहीसे बदनाम ठरलेले हे कृष्णवर्णी चूर्ण म्हणजे ओस्मिअम व इरिडिअमचा नैसर्गिक व तथाकथित असा "ओस्मिइरिडिअम" मिश्रधातु होता हे उघडच होते. इरिडिअम हे रासायनिकदृष्टचा स्थायी स्वरूपाचे आणि सघन असल्याने जलराजमध्येही न विरघळणारे असते. याउलट, ओस्मिअम जलराजमध्ये सहजगत्या विरघळते. थोडक्यात असे सांगता येईल की प्लॅटिनमगटातील धातूंमध्ये ओस्मिअमचे रासायनिक गुणधर्म नमुनेवजा म्हणताच येणार नाहीत. म्हणून तर हे दोन धातु काहीसे लवकर व सहजगत्या अलग करता आले.

१८१७ मध्ये इंग्रज रसायनज्ञ व खनिजतज्ज्ञ डब्ल्यु. ब्रँडी याने प्लॅटिनमवर्गीय धातूंच्या संशोधनावरील आपल्या व्याख्यानात अगदी सार्थ उद्गार काढले आहेत. तो म्हणतो: समकालीन विश्लेषणात्मक अचूकतेच्या दृष्टीकोनातून रसायनशास्त्राच्या सर्वांगीण विकासाचा जर एखाद्याने विचार केला तर प्लॅटिनम धातूंच्या शोधाचा इतिहास आणि ते वेगळे करण्याचे कार्य हेच बहुधा सर्वात अधिक उल्लेखनीय ठरेल.

पण प्लॅटिनम वर्गातील सर्व धातु शोधले गेले होते काय? हा प्रश्न पुन:पुन्हा उभा राहत होताच. वर्षामागून वर्षे उलटली पण या प्रश्नाचे विश्वसनीय उत्तर काही निष्पन्न झाले नाही. केवळ १८४४ मध्येच रूदेनिअम हा प्लॅटिनमगटातील शेवटचा धातु शोधला गेला. खरे तर प्लॅटिनमएवढेच रूदेनिअम हे निसर्गात अगदी विपुल असल्यामुळे आणि त्याच्या सर्वात जास्त अशा अणु-वस्तुमानामुळे वास्तविक त्याचाच प्रथम शोध लागणे क्रमप्राप्त ठरते. पण तसे का झाले नाही हे एक कोडेच आहे. तसे केवळ योगायोगामुळे तर घडले नाहीना, कारण प्लॅटिनम वर्गातील धातूंचा अभ्यास म्हणजे विश्लेषणात्मक अप्रतिम कौशल्याचा भाग आणि रसायनशास्त्राचे परिपूर्ण ज्ञान याचा समन्वय होता!

रूदेनिअम

रूदेनिअम हे पहिले रासायनिक मूलद्रव्य की जे रशियन शास्त्रज्ञामार्फत शोधले गेले. कार्ल क्लॉस हा तो शास्त्रज्ञ होय. प्लॅटिनम वर्गातील या अखेरच्या धातूचा शोध इरिडिअमच्या शोधानंतर तब्बल चाळीस वर्षांनी लागला.

१८२८ मध्ये, टार्टू विद्यापीठातील प्राध्यापक जी. व्ही. ओझान यांनी जलराजमध्ये अशुद्ध प्लॅटिनम विरघळविल्यानंतर (हा नमुना त्यांना उराल भागातून मिळाला होता) मिळणाऱ्या अवशेषाचा अभ्यास केला व त्यामध्ये तीन नवी मूलद्रव्ये असल्याचे त्यांना आढळले. ही नवी मूलद्रव्ये म्हणजे प्लूरॅनिअम, पॉलिनिअम आणि रूदेनिअम ही होत, पण ज्या बर्झेलिअसला ओझाननी आपल्या निष्कर्षाबद्दल पत्र पाठविले होते त्याने काही या संशोधनास आपली मान्यता दिली नाही! ही घटना फार अर्थपूर्ण होती, एवढी की प्लॅटिनम-अवशेषाबाबतच्या अभ्यासास १८४१ पर्यंत चालनाच मिळू शकली नाही. या क्षेत्रात बर्झेलिअसच्या नावाचा दराराच एवढा होता की त्याच्या शब्दाविरुद्ध जाण्याचे धाडस जगातील कोणत्याही रसायनज्ञाच्या मनात येणे शक्य नव्हते.

रूदेनिअमचा एवढा उशिरा शोध लागण्याचे दुसरे एक कारण हे की कुटुंबातील इतर "भावां"बरोबर असणारे त्याचे विलक्षण साम्य. रशियात झालेल्या क्लॉसच्या कामाआधी हा प्रश्न पोलिश शास्त्रज्ञ ए. स्नॅडेट्स्की याने हाताळला होता व एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध जाहीर केला होता. त्यास त्याने "वेस्ट" असे त्याच नावाच्या एका लघुग्रहाचे नावही दिले. तथापि हा शोध चुकीचा आहे असे सिद्ध झाले.

१८४० मध्ये ए. क्लॉसने आपले संशोधन सुरू केले. रशियाच्या त्यावेळच्या अर्थमंत्र्यांनी, इ. एफ. कँक्रित यांनी क्लॉसला भरपूर मदत केली. ते होतेही मोठे उत्साही आणि सव्यसाची गृहस्थ. क्लॉस यांनी २ पौंड प्लॅटिनमअवशेष मिळविला व त्यापासून इरिडिअम, ऱ्होडिअम, ओस्मिअम, पॅलॅडिअम यांचे बऱ्यापैकी प्रमाणात निष्कासन तर केलेच शिवाय १० % प्लॅटिनमही मिळविले. याबरोबरच त्यांनी धातूंचे एक वेगळे मिश्रण बाजूला काढले व त्यामध्ये त्यांच्या मते एक नवा पदार्थ (धातु) असण्याची दाट शक्यता होती.

पहिल्याप्रथम क्लॉसने ओझानच्याच प्रयोगांची पुनरावृत्ती केली. त्यापुढील संशोधन त्याने स्वतःच्या कल्पनेनुसार करण्यास सुरुवात केली. त्यातून मिळालेले निष्कर्ष फारच आशादायक ठरले. १८४४ मध्ये त्याने १८८-पानी अहवाल प्रविद्ध केला. त्यात पुढील माहिती होती: जलराजमध्ये प्लॅटिनम विरघळल्यानंतर मिळणाऱ्या अवशेषाचे विश्लेषणात्मक निष्कर्ष, प्लॅटिनम-धातु वेगळे करण्याच्या नव्या पद्धती, सौम्य अवशेषांच्या अभ्यास

पद्धती, रूदेनिअम – एका नव्या धातूचा शोध, सौम्य अवशेषांबाबतचे विश्लेषणात्मक निष्कर्ष आणि प्लॅटिनम खनिजे व अवशेष अलग करण्याच्या सोप्या पद्धती, प्लॅटिनमवर्गातील पूर्वीपासून ज्ञात असणाऱ्या धातूंचे नव्याने समजलेले गुणधर्म व संयुगे. हे सारे पाहता असेच म्हणावेसे वाटते की प्लॅटिनम-धातूंच्या रसायनशास्त्रावरील तो एक खरोखरीच ज्ञानकोश होता.

के. क्लॉसने या नव्या मूलद्रव्याच्या क्षारधर्मी संयुगापासून पोटॅशिअमच्या सहाय्याने सहा ग्रॅम धातु मिळविला. याबाबत त्याने बर्झेलिअसला वृत्तांत पाठविला, पण यावेळीसुद्धा बर्झेलियस साशंकच होता. त्या ज्ञानवृद्ध आणि विख्यात शास्त्रज्ञाचे मत खोडण्यास क्लॉसच्या मनोधैर्याची कसोटीच लागली म्हणावयाची. पण त्या रशियन शास्त्रज्ञाने आपल्या संशोधनाचा अस्सलपणा अखेर दाखवून दिला आणि १८४५ मध्ये जे. बर्झेलियसने त्या नव्या मूलद्रव्यास – रूदेनिअमला – मान्यता दिली. रशियात एक स्वतंत्र मंडळ नेमले गेले व त्यावर अॅकॅडेमिशियन एच. हेस व यु. एफ. फ्रिट्शी यांची नियुक्ती झाली. क्लॉसचे निष्कर्ष ताडून पाहण्याचे काम त्यांच्यावर सोपविले होते. या मंडळाने क्लॉसच्या शोधातील सत्यता पडताळून तो बरोबर असल्याचे मत दिले. परिणामी क्लॉसला १००० रूबलचे "देमिदोव पारितोषिक" बहाल केले गेले.

रशियाच्या लॅटिन भाषेतील रूदेनिया या नावावरून या मूलद्रव्यास रूदेनिअम हे नाव दिले गेले. क्लॉसने देशप्रेमाच्या भावनेतून तर हे नाव दिलेच, पण त्यास असेही त्यायोगे सुचवावयाचे होते की या क्षेत्रातील सर्व संशोधन रशियात (जी. ओझान, ए. स्नायडेट्स्की व के. क्लॉस यांचे) झाले आहे.

प्लॅटिनम-धातूंचा अभ्यास व संशोधन करण्यात क्लॉसने एकूण २० वर्षे खर्ची घातली. प्लॅटिनमवर्गीय धातूंच्या अभ्यासाच्या रशियन-परंपरेचा तो जनक ठरतो असे सर्वार्थाने म्हणावेसे वाटते.

हॅलोजेनवर्गातील मूलद्रव्ये

हे खरे की फ्ल्युओरिन व क्लोरिन यांचा शोध १८ व्या शतकाच्या सत्तरीत लागला पण माणसाचा हॅलोजेनवर्गातील मूलद्रव्यांशी यथार्थ परिचय १९ व्या शतकापर्यंतही झाला नाही. क्लोरिन हे एक रासायनिक मूलद्रव्य

आहे याचा पत्ता तर त्याच्या शोधानंतर चाळीस वर्षांनी लागला. मुक्त अवस्थेत मिळवेपावेतो, फ्ल्युओरिन तर पुरे एक शतकभर स्वतःस फ्ल्युओरिन संयुगांआड दडवित होते. याउलट, साधे पदार्थ म्हणून आयोडिन व ब्रोमाइन मात्र ताबडतोब ओळखले गेले.

हॅलोजंन म्हणून १८११ मध्ये नामकरण झालेल्या या मूलद्रव्यांचे भवितव्य शास्त्राच्या इतिहासात खूप भिन्नस्वरूपी होते, पण त्यांनी खासकरून रसायनशास्त्रामध्ये आपली विशिष्ट भूमिका बजाविल्याचे आपणास आढळेल.

त्यापैकी एक फ्ल्युओरिन वगळता, ती सारी रासायनिक विश्लेषणमार्गे शोधली गेली; फ्ल्युओरिन मात्र विद्युत रासायनिक पद्धतीद्वारे (मुक्त अवस्थेत) तयार केले गेले.

फ्ल्युओरिन

विख्यात रशियन शास्त्रज्ञ ए. ड. फर्समान यांनी फ्ल्युओरिनचा उल्लेख "सर्वभक्षक" असा अगदी यथार्थपणे केला आहे. खरोखरीच फ्ल्युओरिनचे रासायनिक परिणाम एवढे अतुलनीय आहेत की त्याविरुद्ध तग धरू शकतील असे नैसर्गिक व कृत्रिम पदार्थ अगदीच थोडे आहेत. म्हणूनच फ्ल्युओरिनची कथा म्हणजे या गुणधर्मांचे विवेचनच ठरल्यास त्यात नवल नाही. कालगणनेनुसार फ्ल्युओरिन हा मुक्त अवस्थेत अलग केलेला (अक्रियाशील वायूंव्यतिरिक्त असा) शेवटचा अ-धातु ठरतो. त्याचे अस्तित्व सूचित करण्यात आल्यापासून ते वायुरूप फ्ल्युओरिन मिळवेपर्यंत शंभर वर्षे लोटावी लागली. फ्ल्युओरिन तयार करण्यासाठी रसायनज्ञांनी पंधराहून अधिक वेळा प्रयत्न केले, पण प्रत्येक वेळी निराशाच पदरी आली. एवढेच नव्हे तर कित्येकांना या खटाटोपात प्रसंगी प्राणही गमवावे लागले.

असे असले तरीही ल्युओरिनचे एक नैसर्गिक संयुग वा खनिज (फ्ल्युओरस्पार किंवा फ्ल्युओराइट CaF_2) अगदी निर्धोक स्वरूपाचे व बहुधा सर्व खनिज-संग्राहकाजवळ नमुना-रूपात सापडणारे असे आहे. या खनिजाचा उल्लेख अगदी १६ व्या शतकाएवढ्या अलिकडच्या वाङ्मयात आढळला आहे. पुढे हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्ल अगदी प्रथमतः तयार केले गेले आणि मग मात्र फ्ल्युओराइटला एक आगळेच महत्त्व प्राप्त झाले. हे आम्ल पहिल्यांदा कोणी तयार केले हे सांगणे कठीण आहे, पण एवढे मात्र निश्चित सांगता येते की १६७० मध्ये नर्नबर्ग येथील स्कॉनहर्ड नामक कारागिराने या आम्ला-

चा काचेवर होणारा परिणाम (म्हणजेच ती या आम्लामध्ये विरघळण्याचा) लक्षात घेतला. तत्पूर्वी खुद्द स्कॉनहर्ड व इतरांचा असाच समज होता की काचेवरील कोरीव काम किंवा खोदकाम हे सिलिसिक आम्लामुळे होते. खरे तर त्यास हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्ल जबाबदार होते.

सुमारे शंभर वर्षांनी फ्ल्युओरस्पार हे खनिज कार्ल शीलच्या हातात पडले व या हिरव्यागार खनिजाचा त्याने अभ्यास केला. या शास्त्रज्ञाने चूर्णरूप फ्ल्युओराइट सल्फ्युरिक आम्लासह तापविले. त्यामुळे त्या काचेच्या पात्राच्या आतील बाजू अपारदर्शक होऊन तळाशी पांढऱ्या पदार्थाचा साका जमला. शीलचा असा समज झाला की फ्ल्युओराइटमध्ये कोणतेतरी अज्ञात आम्ल असणारी चुनखडी असावी. त्याने या आम्लात चुन्याची निवळी मिसळली तेव्हा त्यास नैसर्गिक खनिजाशी साधर्म्य असलेले पण कृत्रिम असे फ्ल्युओरस्पार मिळाले.

हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्ल तयार केले गेलेले वर्ष (१७७१) फ्ल्युओरिनच्या शोधाचेही वर्ष समजले जाते, पण तसे समजणे कितपत सयुक्तिक आहे हा वादग्रस्त मुद्दा ठरतो. शीलने जे आम्ल मिळविले (त्यावेळी "स्विडिश आम्ल" म्हणून ते माहीत होते) त्याचे स्वरूप स्पष्ट झालेले नव्हते. शीलच्या संशोधनाबाबत शास्त्रीय जगतात मतभेद जरूर होता, पण दरवर्षी हे पण स्पष्ट होत गेले की शीलचे काम बरोबरच आहे.

क्रमाक्रमाने हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्ल हे विश्वसनीय अशा वर्गीकृत रसायनांमध्ये गणले गेले आणि मग हळूहळू शास्त्रज्ञांचा दृढ समज होत गेला की त्यामध्ये एक नवे रासायनिक मूलद्रव्य सामावलेले आहे पुढे लव्हॉसिएने हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लाचा मूलक (रॅडिकल फ्ल्युओरिक) एक साधा पदार्थ म्हणून "साध्या पदार्थाच्या कोष्टकात" जमा केला आणि मग वरील समज चांगलाच रुजला, पण लव्हॉसिएचीही गफलत झाली ; या आम्लात ऑक्सिजन आहे असे तो समजला. अर्थात त्याची अशी चूक होणे आपण एक वेळ समजू शकतो, कारण त्यावेळच्या रसायनज्ञांचा असा दृढ विश्वास वा समजूत होती की सर्व आम्लांचा ऑक्सिजन हा एक अत्यावश्यक घटक असतोच असतो !

शीलच्या पद्धतीने तयार होणाऱ्या आम्लाची शुद्धता नको असणाऱ्या अनेक द्रव्यांनी बिघडलेली असे. १८०९ नंतरच गे ल्युसॅक आणि थेनार्ड यांनी शिशांच्या पात्रात फ्ल्युओरस्पार व सल्फ्युरिक आम्ल एकत्रित तापवून

हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लाची त्यातल्यात्यात शुद्ध प्रत मिळविली. मात्र या प्रयत्नात त्यांच्यावर या संयुगाचा गंभीर असा विषारी परिणाम घडला.

पुढे एक वर्षाने फ्ल्युओरिनच्या आधीच्या इतिहासातील एक महत्त्वपूर्ण घटना घडली. ती ही की एच. डेव्ही या इंग्रज व ए. अँपिअर या फ्रेंच शास्त्रज्ञानी स्वतंत्ररित्या हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लातील ऑक्सिजनचे "उच्चाटन" केले! त्यांना खात्रीपूर्वक विश्वास वाटत होता की हे आम्ल म्हणजे हायड्रोजन आणि कोणत्यातरी अज्ञात मूलद्रव्याचे संयुग असावे व ते हायड्रोक्लोरिक आम्लासारखेच (HCl) आहे. हॅलोजेनच्या भवितव्यासंबंधी डेव्हीने केलेला हा दुसरा निर्णायक हस्तक्षेप होय (क्लोरीनच्या मूलद्रव्यात्मक स्वरूपाबद्दल निश्चित असे सांगण्यापूर्वी थोडे आधीच).

यावरून हे स्पष्ट होईल की मुक्त अवस्थेतील फ्ल्युओरिन मिळविण्याच्या प्रयत्नात डेव्हीच सर्वप्रथम का असावा. जाता जाता हे सांगितले पाहिजे की अँपिअरने फ्ल्युओरिन नाव सुचविले व ग्रीक शब्द फ्लोरॉस म्हणजे नाशकारक यावरून ते घेतले आहे. हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लाचा आक्रमक, सर्वनाशी असा गुणधर्म लक्षात घेऊनच अँपिअरने हे नाव निवडले (पण मुक्त फ्ल्युओरिनची भयानकता खरोखरीच काय दर्जाची आहे हे रसायनज्ञांच्या अद्यापीही लक्षात आलेलेच नव्हते). पण डेव्ही पडला शांत स्वभावाचा व त्यानुसार त्याने क्लोरिन शब्दाशी मिळतेजुळते असे "फ्ल्युओरिन" हे नाव सुचविले.

पण मूलद्रव्याचे जरी नाव निश्चित केले तरी मुक्त अवस्थेतील फ्ल्युओरिन तयार करणे मात्र डेव्हीला साध्य झाले नाही. १८१३-१४ अशी दोन वर्षे या शास्त्रज्ञाचे धडक प्रयत्न चालूच होते. डेव्हीने दोन मार्ग अनुसरले; एक म्हणजे विद्युत्‌रासायनिक पद्धत, की जी मुळे सोडिअम, पोटॅशिअम, कॅल्शिअम आणि मॅग्नेशिअमची देणगी मिळाली होती. दुसरा म्हणजे फ्ल्युओराइड संयुगांबरोबर होणाऱ्या क्लोरिनच्या अभिक्रिया. हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लाच्या विद्युतरासायनिक अपघटनातून काहीही निष्कर्ष मिळाला नाही, दुसरी पद्धतही निष्फळच ठरली. शिवाय, फ्ल्युओरिनयुक्त संयुगांमुळे डेव्ही गंभीररित्या आजारी झाला व त्यास आपले प्रयोग थांबविणे भाग पडले. तरीपण, फ्ल्युओरिनचे अणु-वस्तुमानांक (१९.०६) निश्चित करणारा तो एक पहिला शास्त्रज्ञ ठरला. डेव्हीचे अयशस्वी प्रयोग आणि त्याचे आजारपण ही एक शास्त्रज्ञांना सावध करणारी सूचनाच ठरली आणि पुढे वीसएक

वर्षापावेतो कोणाही शास्त्रज्ञाने फ्ल्युओरिनच्या वाटेस जाण्याचे धाडस केले नाही. फक्त डेव्हीच्या शिष्योत्तमाने व ज्याचे संशोधनकार्य गुरुपेक्षा तसूभरही कमी दर्जाचे नव्हते अशा एम. फॅरडेने फ्ल्युओरिनचे हे कोडे सोडविण्याचा १८३४ मध्ये (म्हणजे डेव्हीच्या मृत्यूनंतर) प्रयत्न केला. तरीपण, वितळविलेल्या फ्ल्युओराइडांचे विद्युतविघटन करण्याचाही प्रयत्न निष्फळ ठरला.

अशा निष्फळ प्रयत्नांची यादी लांबतच गेली. १८३६ मध्ये आयर्लंडच्या नॉक्स बंधूंनी ह्या समस्येस हात घातला. पण पाच वर्षांपावेतो ते हे धोकादायक प्रयोग निष्फळरित्या करीतच राहिले. या भावांना अत्यंत भयानक विषबाधा झाली व त्यामुळे आर. नॉक्स मृत्युमुखी पडला! १८४६ मध्ये पी. लायेट या बेल्जिअम व्यक्तीने व नंतर फ्रेंच रसायनज्ञ डी. निक्लेसी यांनीही नॉक्स बंधूंची शोकमय नाटचकथा अनुभवली. अखेर, इ. फ्रेमी या पॅरिस येथील निकोल पॉलिटेक्निकमधल्या प्राध्यापकांना मुक्त अवस्थेतील फ्ल्युओरिन तयार करण्यात यश मिळाले असावे असे दिसते. त्यांनी विद्युतविघटनद्वारे वितळविलेल्या निर्जल CaF_2 प्रतीचे विघटन केले. कॅथोडवर कॅल्शिअम धातुरूपात जमला व ॲनोडपाशी एक वायु मोकळा झाला व तो फ्ल्युओरिनशिवाय दुसरा कोणताही असणे शक्य नव्हते. पण निव्वळ बुडबुडयांची मालिका दिसणे एवढेच काही पुरेसे नव्हते, तर तो एकत्रित जमविणे महत्त्वाचे होते. पण ते काही फ्रेमीला जमले नाही. तरीसुद्धा, आमच्या मते फ्रेमीचे नाव सहसंशोधक म्हणून घेणे आवश्यक ठरते, कारण त्याचा तसा हक्क शीलच्या मानाने मुळीसुद्धा कमी पडत नाही.

१८६९ मध्ये जी. गोअर या इंग्लिश शास्त्रज्ञाने थोडचाशा प्रमाणात मुक्त फ्ल्युओरिन मिळविला पण तो स्फोटकरित्या हायड्रोजनशी संयोग पावला. इतरही दहा जणांनी फ्ल्युओरिन मिळविल्याचे उल्लेख इतिहासात आढळतात पण ती सर्वच नावे येथे देण्याचे कारण नाही.

अखेर ए. मॉइसन याने मोठ्या निश्चयाने फ्ल्युओरिनचे भवितव्य आपल्या हाती घेतले. प्रथमतः आपल्या आधीच्या संशोधकांनी केलेल्या चुकांचे पृथक्करण त्याने केले. यामुळे त्याच्या स्पष्टपणे ध्यानात आले की फॅरडे, इ. फ्रेमी व जी. गोअर यांनी उपकरणांच्या साहित्याशीच अचानकरित्या प्रक्रिया पावण्याचा फ्ल्युओरिनचा विध्वंसक गुणधर्म ध्यानात घेतला नाही व त्याबाबत काही उपाययोजनाही केली नाही. संशोधकांची आणखी एक चूक मॉइसनच्या लक्षात आली, ती अशी की ज्यांनी ज्यांनी फ्ल्युओराइडांवर क्लोरिन-

च्या अभिक्रियेमार्फत फ्ल्युओरिन वेगळा करण्याचा प्रयत्न केला त्यांनी हे ध्यानात घेतले नाही की फ्ल्युओरिनपेक्षाही क्लोरिन खरे तर सौम्य स्वरूपाचा ऑक्सिडीकारक असावयास हवा होता.

मॉइसनने U अक्षराच्या आकारातील पात्राचा वापर करून या अडचणीतून मार्ग काढला. प्रथमतः त्याने प्लॅटिनमचे पात्र वापरले, पण त्याने पाहिले की तांब्याचे पात्र अधिक योग्य आहे कारण त्यात तयार होणाऱ्या कॉपर फ्ल्युओराइडच्या थरावर फ्ल्युओरिन तसेच हायड्रोजन फ्ल्युओराइड यापैकी कशाचाच परिणाम न होता पात्र संभाव्य हानीपासून वाचते. त्यानंतर मॉइसनने ते पात्र निर्जल अशा हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लाने भरले, ते विद्युत्वाहक होण्यासाठी त्यात थोडे पोटॅशिअम बायफ्ल्युओराइड टाकले. हे पात्र मग –२९ अंश से. तपमानास असणाऱ्या थंड मिश्रणात बुडविले. पात्रात CaF_2 च्या पट्ट्यातून इलेक्ट्रोड ऊर्फ विद्युदग्र सारले गेले. विद्युत अपघटन क्रियेतून कॅथोडपाशी हायड्रोजन आणि ॲनोडवर फ्ल्युओरिन मुक्त झाले, त्यापैकी फ्ल्युओरिन तांब्याच्या नलिकात एकत्रित जमविण्यात आला.

२६ जून १८८६ रोजी मॉइसनने पहिला यशस्वी प्रयोग करून फ्ल्युओरिनच्या सिलिकॉनशी होणाऱ्या अभिक्रियेतून निर्माण होणारी ज्योत पाहिली. मग त्याने पॅरिस ॲकॅडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेस आपला एक साधासुधा अहवाल पाठविला व त्यामध्ये मुक्त होणाऱ्या वायूच्या विविध स्वरूपाबद्दल वेगवेगळे विचार मांडले. मुक्त होणारा वायु कदाचित हायड्रोजन पर्फ्ल्युओराइड असेल किंवा HF व ओझोन यांचे मिश्रणही असेल, नाही कसे म्हणता येईल? या मिश्रणाची अभिक्रिया भरपूर तीव्र स्वरूपाची असल्यामुळे त्याचे स्फटिकरूप सिलिसिक आम्लावर होणारे तीव्र परिणाम समजण्यासारखे होते.

तथापि, मॉइसन हा ॲकॅडेमीचा सभासद नसल्यामुळे त्याचा अहवाल ए. डेब्री याने वाचून दाखविला. यावर ॲकॅडेमीने ए. डेब्री, इ. फ्रेमी व फ्रेंच शास्त्रज्ञांपैकी "ज्येष्ठ" अशा एम. बर्थेलॉट या तिघांची एक खास समिती नेमली. त्यांच्यापुढील मॉइसनचा पहिला प्रयोग फसला खरा पण दुसऱ्या दिवशी यशस्वी होऊन कमिटीने यशाची पावती दिली. अशाप्रकारे फ्ल्युओरिनच्या चरित्रात आणखी एका तारखेची व बहुधा फार महत्त्वाच्या तारखेची – मुक्त अवस्थेत तो तयार करण्याच्या तारखेची – भर पडली (१८८६). १८८७ मध्ये मॉइसनने द्रवरूप फ्ल्युओरिन तयार करण्यात यश मिळविले.

क्लोरीन

प्राचीन काळी माणसास क्लोरिनयुक्त सोडिअम क्लोराइड $NaCl$ व अमोनिअम क्लोराइड NH_4Cl अशा संयुगांची माहिती होती. पुढे हायड्रोक्लोरिक आम्ल (HCl) माहीत झाले व विस्तृत प्रमाणात त्याचा वापरही होत गेला. अनेक प्रकारची क्लोरीन-संयुगे शास्त्रज्ञांच्या परिक्षणाखाली येत गेली व त्यावरील प्रयोगांमध्ये मुक्त अवस्थेतील क्लोरीन अनेकदा मिळाला असणारच. अशा क्लोरीनचे ज्यांनी ज्यांनी निरीक्षण केले त्यामध्ये जे. ग्लॉबर (ग्लॉबर सॉल्टमुळे प्रसिद्धी पावलेला), जे. फोन हेल्माँट आणि रॉबर्ट बायल अशासारखे विख्यात शास्त्रज्ञ होते. या पिवळया-हिरव्या रंगाच्या चमत्कारिक वायूने त्यांचे लक्ष निश्चितच वेधले असले तरी त्यांना त्याच्या स्वरूपाबद्दल काहीच समजले नाही.

त्यांच्याप्रमाणेच सी. शील या स्विडिश शास्त्रज्ञाचीही चूक झाली. कोणत्याही आधुनिक क्रमिक पुस्तकात दिलेल्या पद्धतीप्रमाणेच शीलने मँगॅनीज ऑक्साइडवर हायड्रोक्लोरिक आम्लाची अभिक्रिया साधूनच क्लोरीन तयार केला (शीलने त्यासाठी चूर्णरूप दिलेल्या पायरोल्युसाइट ऊर्फ नैसर्गिक MnO_2 चा वापर केला). या पद्धतीचा वापर शीलने योगायोगाने केला असेल असे म्हणणे चुकीचे ठरेल. शीलला ठाऊक होते की पायरोल्युसाइटबरोबर होणाऱ्या हायड्रोक्लोरिक आम्लाच्या अभिक्रियेतून नेहमीप्रमाणेच ज्वलनशील वायू (पुढे हायड्रोजन म्हणून ज्ञात झालेला) तयार होतो. आणखी एक प्रकारचा वायु बाहेर पडतो, पण त्याचे ज्वलनशील वायूशी फारच थोडे साम्य असते. त्याचा वासही मोठा घाणेरडा आणि त्याचा पिवळट-हिरवा रंगही मोठा चमत्कारिक असे. या वायूमुळे बाटल्यांची बुचे खराब होतात शिवाय फुले व पाने रंगहीन होतात. एक रासायनिक अभिकारक म्हणून हा नवा वायु मोठा परिणामकारक वा प्रभावी ठरला. अनेक धातूंशी तो प्रक्रिया पावला आणि अमोनियाशी प्रक्रिया पावताच दाट वायु ऊर्फ ढग (अमोनिअम क्लोराइड NH_4Cl) तयार झाला. पाण्यात त्याची विद्राव्यता अगदीच बेताची आढळली. या वायूबाबत "एक नवे मूलद्रव्य" असे काही उद्गार शीलने काढले नाहीत. तथापि हा शोध त्याच्या आकलनशक्तीबाहेरचा मुळीच नव्हता व त्याच्या सर्वसामान्य स्वरूपाबाबत तर्कशुद्ध असे निष्कर्ष काढणे अशक्य नव्हते. पण फ्लॉजिस्टॉन सिद्धांताचा एक कट्टर

पुरस्कर्ता असल्यामुळे या स्विडिश शास्त्रज्ञाची मजल फार पुढे न जाता तो एवढेच म्हणू शकला की हा वायु म्हणजे फ्लॉजिस्टॉन नाहीसे झालेले हायड्रोक्लोरिक आम्ल होय. "फ्लॉजिस्टॉनविरहित हायड्रोक्लोरिक आम्ल किंवा फ्लॉजिस्टॉनविरहित म्युरिक आम्ल" असे त्याने या वायूचे नामकरण केले (लॅटिन शब्द म्युरिया म्हणजे "खारे पाणी" यावरून हायड्रोक्लोरिक आम्लास म्युरिक आम्ल असेही नाव ठेवले गेले). शीलने त्यावेळी, "ज्वलनशील वायु, हवा (हायड्रोजन) ही प्रत्यक्षात फ्लॉजिस्टॉनच" हे एच. कॅव्हेंडिश व इतर शास्त्रज्ञांचे मत मान्य केले होते. तर मग नवा वायु म्हणजे साधासुधा पदार्थ असावयास पाहिजे हे ओघानेच आले (हायड्रोक्लोरिक आम्ल वजा फ्लॉजिस्टॉन) पण हा उघडउघड निर्णय घेण्यास शील राजी नव्हता. एकूण या नव्या वायूच्या शोधाचे वर्ष जरी १७७४ समजले जाते तरी त्याचे स्वरूप स्पष्ट होण्यासाठी खूपच कालावधी जावा लागला हे विसरता येत नाही.

पुढे ए. लव्हॉसिएने फ्लॉजिस्टॉन विचारप्रणाली पार उखडून टाकली. "फ्लॉजिस्टॉनविरहित म्युरिक आम्ल" या नावानेदेखील त्याच्या मनात तीव्र तिरस्कार निर्माण झाला व त्याने चांगलाच विरोधी पवित्रा घेतला. लव्हॉसिएच्या मते शीलचे आम्ल म्हणजे म्युरिक (हायड्रोक्लोरिक) आम्ल व ऑक्सिजन यांचे संयुग ऊर्फ ऑक्सिडीकरण झालेले म्युरिक आम्ल होते व तेच आज आपणास मूलद्रव्यरूप क्लोरीन म्हणून ठाऊक आहे. या फ्रेंच शास्त्रज्ञाचा असा विश्वास होता की सर्व आम्लांमध्ये कोणत्यातरी मूलद्रव्याशी-संयोगित झालेला ऑक्सिजन असावयासच पाहिजे. तर मग याही आम्लात (म्युरिक आम्लात) कोणतेतरी मूलद्रव्य हवे व त्यास लव्हॉसिएने "म्युरिअम" असे नाव दिले व आपल्या "साध्यासुध्या पदार्थांच्या कोष्टका"त सामावून घेतले. (म्युरिअम मूलकरॅडिकल म्युरिएटिक).

यामुळे एकंदर परिस्थिती फारच गोंधळाची ठरली. शीलने शोधलेल्या वायूचे स्वरूप सरळरित्या स्पष्ट करण्याचे सोडून लव्हॉसिएने ते अधिक गुंतागुंतीचे मात्र करून ठेवले. तथापि, नव्या नव्या कल्पना प्रसृत होण्याच्या काळात हा असा घोटाळा होणे अटळ असावे व तेच क्लोरीनच्या इतिहासात घडले. काही शास्त्रज्ञांनी तर मुक्त स्वरूपाचे "म्युरिअम" मूलद्रव्य तयार करण्याचाही प्रयत्न केला. ते अर्थातच निष्फळ ठरले आणि नव्या वायूचे स्वरूप सुस्पष्ट होणे मागेच पडले.

१८०७ मध्ये डेव्हीने हा प्रश्न सोडविण्याचा प्रयत्न केला व त्या बदनाम म्यूरिक आम्लावर तऱ्हेतऱ्हेचे प्रयोग केले. त्याने या आम्लाचे विद्युतविघटन करण्याचाही प्रयत्न केला, पण तसे काहीच झाले नाही. थोडक्यात, त्याने जरी मोठ्या डोकेबाजपणे ऑक्झिम्युरिक आम्लावर प्रक्रिया केल्या तरी पाण्याची किंवा ऑक्सिजनची निर्मिती त्यास काही जमली नाही. किंवा, असेही म्हणता येईल की एखाद्या साध्यासुध्या पदार्थाप्रमाणेच या आम्लांची प्रतिक्रिया होत असे. असेही पाहण्यात आले की या आम्लाची धातूंवर जी अभिक्रिया होई त्यापासून मोठी वैशिष्ट्यपूर्ण क्षारद्रव्ये तयार होत. या वायूबाबत एवढे काही प्रयत्न झाले की अखेर डेव्हीला म्हणावेच लागले की ऑक्झिम्युरिक आम्ल म्हणजे संयुग नसून एकुलता एक साधा पदार्थच होय, म्हणजेच या वायूचे मूलद्रव्यात्मक स्वरूप मान्य करणेच भाग पडले. तोपर्यंत शीलने हा वायु शोधून तीस वर्षे उलटली होती. डेव्हीने १९ नोव्हेंबर १८१० रोजी याबाबतचा आपला अहवाल रॉयल सोसायटीस सादर केला.

ग्रीक शब्द क्लोरॉस (पिवळा-हिरवा असा अर्थ होतो)-वरून डेव्हीने या मूलद्रव्यास क्लोरीन हे नाव सुचविले. पुढे वर्षांनी, म्हणजे १८१२ मध्ये फ्रेंच शास्त्रज्ञ गे ल्युसॅक याने त्यात बदल सुचवून क्लॉर असे नाव सुचविले. इंग्रजी-भाषिक देश वगळता तो बहुतेक साऱ्या ठिकाणी सर्वसाधारणपणे हे नाव स्वीकारले गेले.

गे ल्युसॅकने थेनार्डसह अगदी डेव्हीच्या बरोबरच ऑक्झिम्युरिक आम्लाचा अभ्यास सुरू केला होता. प्रथमतः त्यांना असे दाखवावयाचे होते की हे आम्ल ऑक्सिजनविरहित आहे. त्यासाठी या दोन शास्त्रज्ञांनी झगझगीत कोळशांवर ठेवलेल्या तप्त पोर्सेलीनच्या नळीतून हे आम्ल नेले. कल्पना अशी की शीलच्या या वायूत जर ऑक्सिजन असेल तर तो जळत्या कोळशांमार्फत शोषला जाईल. तथापि, नळीच्या दोन्ही टोकांकडील वायूचे घटक जसे होते तसेच राहिले आणि लव्हॉसिएच्या अनेक चेल्यांचा, ऑक्झिम्युरिक आम्लाबाबतच्या घटकांबद्दलचा विश्वास काही ढळला नाही.

एवढे खरे की डेव्हीच्या प्रायोगिक कामाची छाप समकालीन शास्त्रज्ञांवर चांगलीच पडली आणि हे लोक, म्युरिअम म्हणजे वस्तुतः क्लोरीनच या निष्कर्षाप्रत अखेर पोहोचलेच. १८१३ मध्ये गे ल्युसॅक आणि थेनार्ड हे पण डेव्हीशी सहमत झाले. एक बर्झेलिअस मात्र दीर्घ काळापर्यंत क्लोरीनच्या मूलद्रव्यात्मक स्वरूपाबाबत साशंक होता पण अखेर त्यालाही सत्य स्वीकारा-

वेच लागले. तथापि आयोडीन व ब्रोमाइन यांचा शोध व अभ्यास झाल्यावरच क्लोरीनचे मूलद्रव्यात्मक स्वरूप खरेखुरे निर्विवाद ठरले.

१८११ मध्ये आय. स्केजर या जर्मन शास्त्रज्ञाने क्लोरीनला हॅलोजेन (क्षार तयार करणारे अशा अर्थी ग्रीक शब्द) म्हणावे असे सुचविले. अल्कधर्मी धातूबरोबर सहजगत्या संयोगित पावण्याची पात्रता क्लोरीनची असतेच. सुरुवातीला या नव्या नावाचा स्वीकार झाला नाही तरी पुढे फ्ल्युओरिन, क्लोरीन, ब्रोमाइन व आयोडीन या एकासारख्या गटाचे ते सामान्यनाम ठरले. १८२३ मध्ये एम. फॅरडे यांनी प्रथमच द्रवरूप क्लोरीन मिळविले.

आयोडीन

मुक्त अवस्थेत मिळविण्यात आलेले आयोडीन हे दुसरे हॅलोजेनवर्गीय मूलद्रव्य होय. रंगरूप आणि रासायनिक गुणधर्म या दोन्ही बाबतीत आयोडीन काहीसे आगळेच आहे. हॅलोजेनचा एकच प्रकार म्हणून जर आयोडीन उपलब्ध असते तर मग त्याच्या स्वरूपाबद्दल रसायज्ञांना खूपच डोके खाजवावे लागले असते, परंतु क्लोरीन हे मूलद्रव्य माहीत झालेले असल्यामुळे आयोडीनचे स्वरूप समजण्यास भरपूर पार्श्वभूमी उपलब्ध झाली होती.

फ्रान्समधल्या डिजॉन या गावातील बी. कोर्टॉइज हा उद्योजक इतर धंद्यांप्रमाणेच पोटॅश व सॉल्टपीटर यांच्या उत्पादनातही गुंतला होता. त्यासाठी सागरी शैवालाची राख कच्चा माल म्हणून वापरत असे. या सागरी शैवालाचा शेष द्रावण, पाणी आणि राख यांच्या अभिक्रियेतून मिळत असे. आज आपणास ठाऊक आहेच की या राखेत क्लोराइड-संयुगे, ब्रोमाइड-, आयोडाइड-, कार्बोनेट आणि सल्फेट-संयुगे तसेच काही अल्कद्रव्ये आणि अल्कधर्मी मृत्तिकाधातु आढळतात. अर्थात, त्याकाळी कोर्टॉइज जेव्हा प्रयोग करत होता तेव्हा मात्र या राखेत फक्त पोटॅशिअम आणि सोडिअम संयुगे (क्लोराइड, कार्बोनेट व सल्फेट संयुगे) असल्याचे माहीत होते. बाष्पीभवनाच्या क्रियेनंतर प्रथमतः सोडिअम क्लोराइडचा साखा बसत असे व त्यानंतर पोटॅशिअम क्लोराइड व सल्फेटसंयुगे मिळत. उर्वरित शेष द्रावणात अनेक क्षारद्रव्यांचे गुंतागुंतीचे मिश्रण आणि गंधकयुक्त काही संयुगे उरत.

ही गंधक-संयुगे अपघटनाने वेगळी करण्यासाठी कोर्टॉइजने शेष द्रावणात सल्फ्युरिक आम्ल मिसळले. एक दिवस चुकून त्याने जरूरीपेक्षा जास्तच

प्रमाणात सल्फ्युरिक आम्ल मिसळले. आणि काही परी अनपेक्षित घडले— एकाएकी आश्चर्यकारकरित्या जांभळ्या रंगाच्या वाफेचे ढग निर्माण झाले. ते अति शोभादायक एवढ्याच साठी म्हणता येत नाहीत की त्यांचा वास भारी दु:सह आणि डोळ्यातून घळघळा पाणी वाहविण्याएवढा तो तीव्र होता. त्यानंतर दुसरा चमत्कार पहावयास मिळाला: ही वाफ जांभळ्या रंगातील वजनदार थेंबाच्या रूपाने जमली नाही तर, धातूंसारखी चमक असणाऱ्या कृष्णवर्णी स्फटिकरूपात एकदमच जमा झाली. या नव्या पदार्थाचे आणखीही इतर अनेक वैचित्र्यपूर्ण गुणधर्म कोर्ट्टॉइजच्या ध्यानात आले. खरे पाहता, एका नव्या मूलद्रव्याच्या शोध जाहीर करण्याइतपत कोरटॉईज जवळ सबळ कारणे होती, पण त्याची प्रयोगशाळा पुढील संशोधन करण्याच्या दृष्टीने फारच तोकडी होती. मग त्याने आपल्या चार्लस डीसॉर्मिस व एन. क्लेमेंट या मित्रांची मदत घेतली व त्यांची प्रयोगशाळा संशोधनार्थ वापरण्यास देण्याची विनंती केली. आपल्या शास्त्रीय संशोधनाचा एक अहवाल त्यांनीच तयार करून एखाद्या जर्नलकडे पाठवावा असेही त्यांना सांगितले.

त्यानुसार "मि. कोर्ट्टाइज यांनी अल्कधर्मी क्षारापासून मिळविलेल्या पदार्थाच्या शोधाबाबत" या शीर्षकाचा व एन. क्लेमेंट व चार्लस डिसॉर्मिस यांच्या स्वाक्षऱ्या असलेला अहवाल प्रसिद्ध झाला खरा पण या मूलद्रव्याचा शोध लागल्यानंतर दोन वर्षांनी! इतर रसायनज्ञांनाही हा पदार्थ अभ्यासिता यावा म्हणून कोर्ट्टॉइजने त्याचा थोडासा नमुना डिजॉनमधल्या एका औषधी कंपनीस दिला. त्याने स्वत:साठी काही प्रमाणात आयोडीन तयार केले व त्याच्या गुणधर्मांचा अभ्यास तर केलाच, पण बहुधा त्यानेच प्रथम सांगितले असावे की आयोडीनचे क्लोरीनशी साधर्म्य आहे. १८१३ मध्ये जे. गे ल्युसॅक व डेव्ही यांनी एकमेकांअपरोक्ष आयोडीनचे मूलद्रव्यात्मक स्वरूप सिद्ध केले. या फ्रेंच रसायनज्ञानेच "आयोड" हे नाव या नव्या मूलद्रव्यास (आयोडेस म्हणजे जांभळ्या रंगी" या ग्रीक शब्दावरून) सुचविले, तर इंग्रज शास्त्रज्ञाने "आयोडीन" असे सुचविले. पहिले नाव रशियन भाषेत मान्यता पावले.

शोध लागल्यानंतर अगदी थोडक्या कालावधीत ज्याचे रासायनिक गुणधर्म सर्वप्रकारे अभ्यासिले गेले असे आयोडीन हे एक अपवादात्मक उदाहरण समजावे लागेल. त्यास महत्त्वपूर्ण हातभार लावला तो गे ल्युसॅक याने, एवढेच नव्हे तर त्याने आयोडीनवर एक संदर्भग्रंथही लिहिला. एकाच

मूलतत्त्वास वाहिलेला ग्रंथ लिहिला जाण्याचे विज्ञानेतिहासातील हे पहिलेच उदाहरण होय.

एक विशेष सांगण्यासारखी हकिकत म्हणजे बी. कार्टॉइजला पुढील पिढी विसरली नाही; डिजॉनमधील एका रस्त्यास त्याचे नाव दिले! रासायनिक मूलद्रव्यांच्या संशोधकांपैकी फारच थोड्या जणांच्या वाट्यास हा बहुमान आला आहे.

ब्रोमिन

अनेक बाबतीत अगदी वैचित्र्यपूर्ण ठरणारे हे मूलद्रव्य म्हणजे नैसर्गिक हॅलोजेन वर्गातील अगदी अखेरीस शोधले गेलेले मूलद्रव्य होय (अर्थात, शीलचा १७७१ मधला फ्ल्यूओरिनचा शोध आपणास मान्य असेल तरच).

१८२९ च्या हिवाळ्यातील एके दिवशी प्रा. एल. ग्मेलिन (हेडलबर्ग विद्यापीठातील वैद्यकशास्त्र व रसायनशास्त्र यांचे प्राध्यापक) यांच्या प्रयोगशाळेत पुढील घटना घडली. सी. लोविग नामक एका विद्यार्थ्याने आपल्या प्राध्यापकांना एका जाड काचेच्या चंबूत असलेला व घाणेरडा वास असणारा एक द्रवपदार्थ सादर केला. लेविगने ग्मेलिन यांना सांगितले की हा तपकिरी-तांबड्या रंगाचा द्राव, आपणास आपल्या क्रेझ्नॅक या मूळ गावी असणाऱ्या नैसर्गिक खनिज-जलापासून मिळाला असून त्याचा आपण अभ्यासही केला आहे. वायुरूप क्लोरीनमुळे शेष द्रावण तांबड्या रंगाचे बनले. पुढे लोविगने इथरच्या सहाय्याने ज्या पदार्थामुळे तांबडा रंग मिळाला तो पदार्थ वेगळा केला. तो तपकिरी-तांबड्या रंगाचा द्रवपदार्थ होता व त्यासच पुढे ब्रोमिन हे नाव मिळाले.

ग्मेलिनने आपल्या शिष्योत्तमाच्या कामात खूप स्वारस्य दर्शविले आणि हा पदार्थ मोठ्या प्रमाणावर तयार करून त्याचे गुणधर्म नीट तपासून पहावेत असा त्यास सल्ला दिला. असा सल्ला देणे योग्यच होते कारण स्वतः ग्मेलिन हा काही अनुभवी असा प्रयोगकर्ता नव्हता शिवाय या कामास बराच वेळही लागणार होता. पण हा वेळेचा मुद्दाच या विद्यार्थ्याच्या विरुद्ध गेला.

मोठ्या जिद्दीने लोविग तो घाणेरड्या वासाचा व तांबड्या रंगाचा द्रवपदार्थ बनविण्याच्या प्रयत्नात गुंतला होता. नेमके त्याच वेळी ए. बॅलार्ड या नावाने "समुद्रजलात असणारा एक विशिष्ट पदार्थ व त्याचे आलोचन" नावाचा एक विस्तृत लेख "ॲनल्स द चिमी एट् द फिजिक" या जर्नल-

मध्ये प्रसिद्ध झाला. ए. बॅलार्ड हा माँटपेलिअर नामक गावातील एका औषधीविज्ञान शाळेत प्रयोगशाळा सहाय्यक म्हणून काम करत होता. लोविगचा तपकिरि-तांबड्या रंगाचा द्रवपदार्थ व त्याचा तो "विशिष्ट पदार्थ" यात चांगलेच साम्य आढळून आले. ए. बॅलॉर्ड लिहितो की १८२४ मध्ये आपण खाऱ्या व दलदलीच्या प्रदेशातील वनस्पतींचा अभ्यास सुरू केला. या वनस्पतींवर त्याने अनेक अभिकारक संयुगांचे प्रयोग करून पाहिले, हेतु हा की काही उपयुक्त संयुगे मिळतात का ते पहावे. त्याने तयार केलेले शेष द्रावण क्लोरीनसह काही अभिकारकांमुळे तांबड्या रंगात रूपांतरित झाले. नंतर सागरी शैवालाच्या राखेवरील प्रक्रियांमधून मिळालेल्या अल्कधर्मी द्रावणाचाही बॅलार्डने अभ्यास केला. या द्रावणात क्लोरीन-जल आणि स्टार्च ऊर्फ तवकीर मिसळताच ते दोन थरात विभागले गेले, खालचा थर निळ्या रंगाचा तर वरचा थर तांबड्या रंगाचा होता. बॅलार्डचे मत असे झाले की खालच्या थरात आयोडीन असणार, त्यामुळेच स्टार्चला निळा रंग प्राप्त झाला. पण वरच्या थराबद्दल काय म्हणता येईल? बॅलार्डच्या मते वरच्या थरात क्लोरीन व आयोडीन यांचे संयुग असले पाहिजे. हे संयुग वेगळे करण्याचा त्याने प्रयत्न केला पण त्यास ते जमले नाही. मात्र या कामात माँटपेलिअरचे व त्याच्या प्रयोगशाळेचे सहाय्य मिळाल्यानंतर समजणे शक्य झाले की कोणत्यातरी नव्या रासायनिक मूलद्रव्यामुळेच तांबूस-तपकिरी रंग प्राप्त झाला असणार. बॅलॉर्डने तो रंगीत द्रवपदार्थ वेगळा केला आणि कित्येक महिन्यांपूर्वी लोविग नामक एका अज्ञात विद्यार्थ्यानेही वेगळा केलेल्या द्रावाशी तो मिळताजुळता ठरला. लोविग पुढे अॅकॅडेमिशिअन व प्राध्यापक या नात्याने सोर्बोन येथे होता.

या नव्या मूलद्रव्यास बॅलार्डने, म्युरिआ म्हणजे खारे पाणी या लॅटिन शब्दावरून "म्युराइड" असे काहीसे रुक्ष नाव ठेवले. या मूलद्रव्याच्या स्वरूपाबाबतही त्याचा असाच नीरस दृष्टिकोन होता. पारा या धातूप्रमाणेच सर्वसाधारण तपमानात द्रवरूप असा हा एकुलता एक अ-धातुरूप द्रवपदार्थ आहे अशी त्याची समजूत होती.

बॅलॉर्डचा लेख दुर्लक्षित झाला नाही, तरीसद्धा त्याच्या मित्रांनी त्यास सल्ला दिला की त्याने पॅरिस अॅकॅडेमी ऑफ सायन्सेस संस्थेकडे आपल्या संशोधनाचा अहवाल अवश्य पाठवावा. त्यानुसार ३० नोव्हेंबर १८२५ रोजी त्याने "समुद्रजलातील एका विशिष्ट पदार्थाबाबत अहवाल" असे वृत्त

ॲकॅडेमीस पाठविलेही. क्लोरीन आणि आयोडीन यांच्याशी म्युराइडचे असलेले साम्य हा या वृत्तातील सर्वात महत्त्वाचा भाग होता. अशा अहवालांवर ॲकॅडेमीच्या सभासदांनी लगेच विश्वास न ठेवता बॅलार्डचे संशोधन तपासून पाहण्यासाठी एक खास कमिटी नेमली. गे ल्युसॅक व्हॅक्वेलिन आणि थेनार्ड या कमिटी-सभासदांनी बॅलार्डचे सर्व निष्कर्ष मान्य केले, फक्त नावाच्या बाबतीत आक्षेप घेतला. कमिटीने, ग्रीक शब्द ब्रोमॉस म्हणजे दुर्गंधी मारणारा यावरून "ब्रोमिन" असे या नव्या मूलद्रव्यास नाव दिले.

१४ ऑगस्ट १८२६ रोजी कमिटीने आपला निर्णय दिला की रसायनशास्त्राच्या दृष्टीने ब्रोमिनचा शोध अत्यंत महत्त्वपूर्ण आहे!

फक्त एकाच शास्त्रज्ञास ही बातमी खटकली. तो म्हणजे जे. लिबिग हा होय. काही वर्षांपूर्वी एका जर्मन कंपनीने त्याजकडे एक बाटलीभर द्रवपदार्थ पाठविला होता व त्याचे स्वरूप नक्की करण्याबाबत त्यास विनंती केली होती. पण या शास्त्रज्ञाने संपूर्णरित्या पृथक्करण न करता घाईगर्दीने निष्कर्ष काढला की तो द्रवपदार्थ म्हणजे आयोडीन व क्लोरीनचे संयुग आहे. पुढे लिबिगने बॅलार्डच्या शोधाचे वृत्त ऐकल्यावर मग त्याने बाटलीतील उर्वरित द्रवपदार्थ योग्य प्रकारे तपासून पाहिला व तो ब्रोमिन असल्याचे निश्चित केले. लिबिगचे सहकारी सांगतात की संतापाच्या भरात त्याने असे उद्गार काढले की "ब्रोमिन"चा शोध काही बॅलार्डने लावला नाही तर ब्रोमिनने बॅलार्डला उजेडात आणले."

रसायनशास्त्राच्या विकासात हॅलोजेनवर्गाची भूमिका

मूलद्रव्यांच्या अणूंचे वस्तुमान (वजने) ठरविण्यात जेव्हा पुरेशी अचूकता आली तेव्हा मूलद्रव्यांची रचना वाढत्या अणुभारानुसार करण्यात आली. यामुळे हलक्या मूलद्रव्याकडून वजनदार मूलद्रव्याकडे जाताना त्यांच्या रासायनिक गुणधर्मातील बदलांचा मागोवा घेणे शक्य झाले, शिवाय, आवर्ती नियम प्रस्थापित करण्यास पार्श्वभूमीही तयार झाली. रासायनिकदृष्ट्या मिळत्याजुळत्या मूलद्रव्यांशी संयोग पावणाऱ्यांचा गट म्हणजे स्वाभाविक गट ही कल्पना दृढमूल झाली. अशा गटांपैकी क्लोरीन-ब्रोमिन-आयोडीन हे त्रिकुट म्हणजे पहिला स्वाभाविक गट होय. जर्मन रसायनज्ञ जे. डॉबरनर याने त्याचा सखोल अभ्यास केला व त्यास मेंदेलेयेवचा या क्षेत्रातील एक पूर्वाधि-

कारी समजता येईल. या त्रिकुटाची एक वैशिष्टचपूर्ण वस्तुस्थिती अशी आढळली की मधल्या मूलद्रव्याचा अणुभार, टोकांकडील मूलद्रव्यांच्या अणुभारांच्या बेरजेच्या निम्म्याने भरतो हीच वस्तुस्थिती इतर त्रिकुटांबाबतही (स्वाभाविक गटांबाबतही) लागू पडते असेही पहावयास मिळाले. असे म्हणता येईल की क्लोरीन-ब्रोमिन-आयोडीन ही तीन मूलद्रव्ये आवर्ती नियमाच्या रचनेतील ("प्रासादा"तील) पहिले दगड ठरले!

आम्लांचे संघटन (घटकांची रचना) व गुणधर्म समजण्याच्या दृष्टीने या मूलद्रव्यांचे महत्त्व फार मोलाचे ठरते. क्लोरीनच्या शोधाने सर्व आम्ले ऑक्सिजनयुक्त असतात या कल्पनेस सुरुवातीस उचलून धरले. पण नंतरच्या काळात असे दिसले की क्लोरीन हे असे पहिले मूलद्रव्य आहे की ज्याच्या बाबतीत ऑक्सिजनयुक्त व ऑक्सिजनविरहित (म्हणजे हायड्रोक्लोरीक) अशी दोन्ही प्रकारची आम्ले मिळविली गेली. हॅलोजेनवर्गीयांचे ऑक्सिजनयुक्त आम्लप्रकार अभ्यासण्यामुळे, रसायज्ञांना आम्ल-सामर्थ्य व त्यांच्या विचरणाचे (विघटनेचे) प्रमाण याबाबत नवी अंतर्दृटी प्राप्त झाली. त्यातल्या त्यात हायड्रोक्लोरीक आम्लाच्या गुणधर्मांचा तुलनात्मक अभ्यास विशेष फायदेशीर ठरला व त्यामुळे सैद्धांतिक रसायनशास्त्रावर क्लोरीन, ब्रोमिन व आयोडीन यांच्या अभ्यासाचा परिणाम घटला असेही झाले नाही.

प्रायोगिक रसायनशास्त्राबाबतही आपणास असेच चित्र पहावयास मिळते. अनेक कार्बनी संयुगे तयार करण्यासाठी हॅलोजेनयुक्त हायड्रोकार्बन पदार्थ म्हणजे अत्यंत महत्त्वाचे मध्यस्थ पदार्थ म्हणून ओळखले जातात. १९ व्या शतकातील कार्बनी संश्लेषणकार्यात वेगवान प्रगती होण्यास ही वस्तुस्थिती अतिशयच उपयुक्त ठरली. निरनिराळया खनिजांपासून महत्त्वाचे धातु वेगळे किंवा अलग करण्यासाठी क्लोरीनीकरणाची पद्धत विस्तृत प्रमाणात वापरली जाते. आयोडाइड-संयुगे अतिशुद्ध प्रतीचे धातु तयार करण्यासाठी वापरले जातात. फ्ल्युओरिन-रसायनशास्त्र ही तर विज्ञानाची स्वतंत्रच शाखा झाली आहे.

बोरॉन

अगदी मध्ययुगाच्या सुरुवातीपासून लोकांनी बोरॅक्स (टाकणखार) हे बोरॉनचे संयुग मोठ्या स्वरूपात वापरले आहे. बहुधा त्यापेक्षाही कितीतरी आधीपासून ते वापरले जात असावे. असे आढळते की ख्रिस्तोत्तर पहिल्या

एक-हजार वर्षांच्या कालावधीत धातूंच्या वितळजोडांसाठी त्याचा वापर होत होता. तथापि उपयोग होत असला तरी नैसर्गिक बोरॅक्सचे घटक कोणते असावेत हे फार काळ अज्ञात होते. बोरिक आम्ल प्रथमत: १७०२ मध्ये डच वैद्य डब्ल्यु. हॉम्बर्ग याने तयार केले व त्यासाठी त्याने सल्फ्युरिक आम्ल बोरॅक्ससह तापविले. "हॉम्बर्गचे शामक द्रव्य (क्षार)" या नावाने ते वैद्यकक्षेत्रात वापरले जाई. १७४७ मध्ये थॉमस बॅरन या फ्रेंच रसायज्ञाने बोरॅक्सची रासायनिक जडणघडण वा घटक ठरविण्याचा प्रयत्न केला. त्यामध्ये हॉम्बर्गचे क्षारद्रव्य आणि सोडा (सोडिअम संयुग) असल्याचे त्यास आढळले. त्याचे बरोबरच होते. बोरॅक्स ऊर्फ सोडिअम पायरोबोरेट ($Na_2B_4O_7$) बोरिक आम्लाचा सोडिअम क्षार होय.

बोरॉनच्या पूर्वेतिहासात टी. बर्गमन या स्विडिश रसायज्ञाचा उल्लेख अवश्य केला पाहिजे. त्याला असे खात्रीपूर्वक वाटत होते की हॉम्बुर्गचे शामकद्रव्य बहुधा क्षारपदार्थ नसावाच तर आम्लाशी साधर्म्य असणारे संयुग असणे अधिक शक्य आहे. खरी वस्तस्थिती अशी आहे की "बोरिक आम्ल" हे नाव त्यानेच प्रचारात आणले. तसेच लव्हॉसिएच्या "साध्या पदार्थांच्या कोष्टकात" बोरिकमूलक ही संज्ञा असून तिचा अर्थ बोरॉन ऑक्साइड असाच अभिप्रेत आहे. तरी पण बोरॉन या नव्या रासायनिक मूलद्रव्याचा प्रत्यक्ष शोध लागेपर्यंत वीस वर्षे उलटावी लागली.

बोरॉनच्या बाबतीत असे घडले आहे की त्याचा शोध अनेक शास्त्रज्ञांनी लावला! एल. थेनार्ड व एल. जे. गे ल्युसॅक हे दोन फ्रेंच रसायज्ञ व इंग्रज रसायज्ञ डेव्ही हे त्यापैकीच. त्यांनी नव्या मूलद्रव्यास "बोरॉन" आणि "बोरॅशिअम" ("बोरॅक्स" या शब्दावरून) अशी नावे दिली. ते तयार करण्याची पद्धत मात्र दोन्हीही बाबतीत सारखीच म्हणजे धातुरूप पोटॅशिअमच्या सहाय्याने बोरिक आम्लाचे क्षपण करणे. केवळ दहा दिवसांच्या कालावधीत अनेक संशोधकांनी आपापल्या परीने किंवा स्वतंत्रपणे एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध लावावा ही रासायनिक मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील एक अजोड घटना ठरावी. गे ल्युसॅक व थेनार्ड यांनी आपला शोध २१ जून १८०८ रोजी जाहीर केला आणि डेव्हीने ३० जून रोजी. या ठिकाणी फ्रेंच रसायज्ञांचे प्राधान्य खरे तर क्षणभंगूरच म्हटले पाहिजे कारण खरे तर डेव्हीच्या तत्पूर्वीच्या पोटॅशिअमच्या शोधामुळेच त्याना मुक्त स्वरूपातील (असंयोगित) बोरॉन अलग करण्याची गुरूकिल्ली उपलब्ध झाली.

कॅड्मिअम

गॉटिंजेन विद्यापीठाच्या औषधी-विभागातील रसायनशास्त्राचे प्राध्यापक आणि हॅनोवरमधल्या रासायनिक-औषधी दुकानांचे मुख्य निरीक्षक अशा एफ्. स्ट्रॉमेअर या व्यक्तीस १८१७ मध्ये असे आढळले की या दुकानामध्ये मिळणारे झिंक कार्बोनेट भाजले असता (निस्तापनामुळे), त्यात लोह-शिशादी अशुद्ध द्रव्ये नसूनही, एक पिवळ्या रंगातील संयुग मिळते!

हा असाधारण प्रकार पाहून स्ट्रॉमेअर यांचे कुतुहल चाळविले गेले आणि असाच प्रकार इतरत्रही अनुभवास येतो का हे पाहण्यासाठी साल्झगिटरमधल्या एका दुकानास भेट देण्याचे त्यानी ठरविले. पण तेथेही वरीलप्रमाणेच अनुभव आला. हे पाहून त्या शास्त्रज्ञाने झिंक ऑक्साइड बारकाईने तपासण्याचे ठरविले. ते करताना प्राध्यापकमहाशयाना एक असा धक्कादायक अनुभव मिळाला की झिंक ऑक्साइडला जो रंग प्राप्त होतो तो पूर्वी कधीच न अनुभविलेल्या एका वेगळ्याच धातूच्या ऑक्साइडमुळे मिळतो. हे ऑक्साइड वेगळे करण्यात आणि नंतर त्याचे क्षपण करून धातु मिळविण्यात स्ट्रॉमेअर यशस्वी झाले.

त्याची पद्धत पुढीलप्रमाणे होती: प्रथम त्यांनी अशुद्ध झिंक ऑक्साइड सल्फ्युरिक आम्लात विरघळविले व या द्रावणातून हायड्रोजन सल्फाइड नेला. मग हे सल्फाइडांचे मिश्रण त्यांनी गाळले व धुतले आणि संहत अशा हायड्रोक्लोरिक आम्लात विरघळविले. नंतर हे द्रावण कोरडे होईपर्यंत आणि त्यातील आम्ल नाहीसे होईपर्यंत बाष्पीभवनाची क्रिया केली. त्यातून मिळलेला उर्वरित भाग (अवशेष) पाण्यात विरघळवून त्यात बरेचसे अमोनिअम कार्बोनेट मिसळले. नव्या धातूपासून तयार झालेले कोर्बोनेट-संयुग, अमोनिअम कार्बोनेट असल्यामुळे (किंवा त्याच्या अस्तित्वामुळे) विरघळू शकले नाही व साखारूपात खाली बसले. स्ट्रॉमेअरनी हा साखा गाळून वेगळा केला, धुवून काढला आणि त्याचे ऑक्साइडात रूपांतर करून हे ऑक्साइड, धातु मिळविण्यासाठी कोळशाबरोबर तापविले. परिणामी, निळसर करड्या रंगाचा धातु मिळाला. तथापि, स्ट्रॉमेअरला केवळ तीन ग्रॅम धातु उपलब्ध झाल्यामुळे त्याचे गुणधर्म बारकाईने तपासणे शक्य झाले नाही. केवळ १८१८ मध्ये ते त्यास शक्य झाले.

हा धातु तयार करण्याच्या पद्धतीनुसार ($ZnCO_3$ भाजण्यामुळे) त्यास

"कॅडमिआ" (नैसर्गिक $ZnCO_3$ चे ग्रीक नाव) असे स्ट्रॉमेअरने नाव दिले.

पुढे थोड्याफार उशिराने व स्वतंत्ररित्या जर्मनीत डब्ल्यु. मेस्नर आणि के. केर्स्टेन यांनी कॅड्मिअमचा शोध लावला (१८१८). स्ट्रॉमेअरच्या प्राधान्यास जर्मन शारिरवेत्ता के. रोलॉफ याने आव्हान दिले, कारण झिंक ऑक्साइडवर तापविण्याचा परिणाम ध्यानात घेणारा तो खरा पहिला माणूस होय. के. केर्स्टेन याने या नव्या धातूस "मेलिनम" हे नाव सुचविले कारण त्याच्या सल्फाइड-संयुगाचा असणारा पिवळा रंग हे होय. "क्लॅप्रोथिअम" असेही एक नाव (एम. क्लॅप्रॉथच्या सन्मानार्थ) सुचविले गेले. एका लघुग्रहाच्या नावानुसार "युनोनिअम" हे पण नाव पुढे आले. मात्र कोणतेच नाव स्वीकारण्यात आले नाही.

लिथिअम

या सर्वात हलक्या धातूचे भवितव्य वरवर पाहता फारसे महत्त्वपूर्ण नाही असेच वाटावे. पृथ्वीच्या कवचात सोडिअम आणि पोटॅशिअम यांच्या मानाने कितीतरी कमी प्रमाणात हा धातु असून त्याची खनिजेही दुर्मिळ असतात. साहजिकच, माणसाच्या लक्षात तो इतरांच्या तुलनेने उशिरा आल्यास त्यात नवल वाटू नये. निसर्गात आढळलेले हे तिसऱ्या क्रमांकाचे अल्कधर्मी धातुरूप मूलद्रव्य होय.

१८ व्या शतकाच्या सुरुवातीच्या काळात प्रसिद्ध असा ब्राझील-निवासी शास्त्रज्ञ व राजनीतिज्ञ जे. अँड्रेडा इ सिल्व्हा हा स्कँडेनेव्हिआ देशांमधून प्रवास करीत होता. तो एक अत्यंत उत्साही असा खनिजतज्ज्ञ असून निरनिराळया नमुन्यांची भर टाकून आपला खनिज संग्रह मोलाचा ठरावा अशी त्याची नेहमीच धडपड असे. यावेळी तो नशिबवान ठरला, कारण दोन नवे प्रकार त्यास सापडले. पेटलाइट व स्पोड्युमेन अशी त्याने या खनिज-प्रकारांना नावेही दिली. स्वीडनच्या अधिपत्याखालील उटो या बेटावर त्यास हे प्रकार आढळले. पुढे थोड्याच कालावधीत इतर ठिकाणीही स्पोड्युमेन आढळून आले, पण पेटलाइट एवढ्या सहजपणे आढळेल असे वाटेना. पुढे उटोमध्येच १८१७ मध्ये ते दुसऱ्यांदा आढळले.

उघडच आहे की स्पोड्युमेनवर प्रथमतः संशोधन सुरू झाले. क्लॅप्रॉथने त्याचे विश्लेषण केले खरे पण त्यास या खनिजात अल्युमिना व सिलिका

याशिवाय इतर काहीच सापडले नाही. थोडक्यात स्पोडयुमेन म्हणजे अल्यु-मिनोसिलिकेटचा एक विशेष प्रकार ठरला, एवढेच. पण असेही लक्षात आले की मूळ नमुन्याच्या मानाने वेगळ्या केलेल्या घटकांचे एकूण प्रमाण ९.५ टक्के भरले आणि जी भरपूर अशी कमतरता येत होती तिचे कारण क्लॅप्-रॉथला काही देता आले नाही. या सुमारास आय. नेपोमुक फॉन फॉक्स याने सहजगत्या ध्यानात घेतले की चिमुटभर स्पोडयुमेनमुळे ज्योतीचा रंग तांबडा बनतो. असे का व्हावे हे शोधण्याचा काही त्या शास्त्रज्ञाने प्रयत्न केला नाही. ही त्याने चांगलीच चूक केली असे म्हटले पाहिजे, नाहीतर स्पोडयुमेनमध्ये असणाऱ्या एक नव्या मूलद्रव्याचा त्यास शोध लावता आला असता.

पेटलाइटचा दुसऱ्यांदा लागलेला शोध पाहून या खनिजाकडे लोक आकर्षित झाले. एल. व्हक्वेलिन यास त्यामध्ये ॲल्युमिना व सिलिकाबरोबरच अल्कद्रव्याचाही अंश आढळला, पण चुकीने त्याने त्यास पोटॅश म्हटले. डब्ल्यु. हिझिंजर याला आशादायक व सूचक असे निष्कर्ष मिळाले खरे पण त्याचे स्पष्टीकरण करण्यास त्यास संधीच मिळाली नाही कारण तत्पूर्वीच तसेच निष्कर्ष व सर्वकाही आधारभूत माहिती आय. आर्फव्हेडसन या स्विडिश रसायज्ञाने प्रसिद्ध केली होती. यामुळेच लिथिअमच्या शोधाचे श्रेय त्यास मिळाले. प्रसिद्ध फ्रेंच रसायनज्ञ ए. बर्थोलेट यास लिहिलेल्या ९ फेब्रुवारी १८१८ च्या पत्रात जे. बर्झेलियस या घटनेचे पुढीलप्रमाणे वर्णन करतो. तो लिहितो की, "माझ्या प्रयोगशाळेत वर्षभर काम करीत असलेल्या आय आर्फवेडसन नामक एका तरूण व मोटचा सफाईदारपणे काम करणाऱ्या एका रसायनज्ञाने एक नवा अल्कधातु नुकताच शोधला आहे. आर्फव्हेडसनला हा धातु, अँड्रेडास पूर्वीच उटो खाणीत आढळलेल्या व त्यानेच पेटलाईट असे नाव दिलेल्या खनिजात सापडला. या खनिजात ८० टक्के सिलिकॉन ऑक्साइड, १७ टक्के ॲल्युमिनिअम आणि ३ टक्के हा नवा अल्कली पदार्थ आढळतो. ज्या पारंपारिक पद्धतीने हा अल्कली पदार्थ वेगळा करण्यात आला त्या पद्धतीत भुगा केलेले (दळलेले) खनिज बेरिअम कार्बोनेटसह तापविणे आणि त्यानंतर त्यातील सर्व मृत्तिका वेगळ्या करणे यांचा समावेश आहे.

पेटलाइटचे विश्लेषण करताना आर्फव्हेडसनला सुरुवातीसच असे लक्षात आले की हिशेब न लागणारी अशी घट सुमारे ४ टक्के आहे. या स्विडिश रसायनज्ञाने (त्याच्या वेळी असणाऱ्या क्लॅप्रॉथप्रमाणेच) घट होण्याची

कारणे शोधण्याचा पुन:पुन्हा प्रयत्न केला. निरनिराळी गृहिते बाजूला सारून अखेर तो सत्य परिस्थितीजवळ पोहोचला – अज्ञात स्वरूपाचा एक नवा अल्कपदार्थ त्यात असला पाहिजे! उघडच होते की हा अल्कपदार्थ तयार झाला तो या नव्या अल्कधातूमुळेच. आर्फव्हेडसने या धातूस नाव सुचविण्याबाबत आपल्या गुरुजींना आवाहन केले आणि त्या दोघांनी मिळून "लिथिअम". (ग्रीक शब्द लिथॉस म्हणजे "पाषण" यानुसार) हे नाव ठेवण्याचे मुक्रर केले. या नावामुळे असेही सुचविले जाते की लिथिअमचा शोध खनिज-जगतात लागला तर इतर दोघा अल्कधातूंचा (सोडिअम व पोटॅशिअम) वनस्पती – जगतात लागला.

पेटलाईटमध्ये असणाऱ्या लिथिअमच्या शोधाबाबतचा आपला अहवाल आर्फव्हेडसनने १८१९ मध्ये प्रसिद्ध केला, पण त्याआधीच म्हणजे एप्रिल १८१८ मध्येच इतर काही खनिजप्रकारांमध्येही या शास्त्रज्ञास हा नवा अल्कधातु आढळला. अखेर क्लॅप्रॉथला न सोडविता आलेले स्पोड्युमेनबाबतचे रहस्य उघड झाले, त्यामध्ये सुमारे ८ टक्के लिथिअमचा अंश असतो. त्याचप्रमाणे बऱ्याच पूर्वीपासून माहीत असलेल्या अशा लेपिडोलाइट या एका खनिजातही सुमारे ४ टक्क्यांपर्यंत या अतिहलक्या व अल्क-धातूचा अंश असतो असेही निष्पन्न झाले.

ज्योतीला सुंदर तांबडा रंग प्राप्त होतो याचे कारण लिथिअम क्षार आहे हे जर्मन रसायज्ञ के. ग्मेलिन याने दाखवून दिले. हा आविष्कार आपणही पाहिला होता, पण त्याजकडे लक्ष दिले नाही याची मग आय्. फॉन फॉक्सला चांगलीच चुटपुट लागली.

१८१८ च्या अखेरीस लिथिअमची शुद्ध प्रत तयार करण्यात डेव्हीला यश आले. त्याचे प्रमाण मात्र फारच अल्पसे होते. पुढे जर्मन रसायज्ञ बुनसेन आणि मॅटिसेन यांनी लिथिअम क्लोराइडचे विद्युत-अपघटन करून लिथिअम तयार करण्याची औद्योगिक पद्धत विकसित केली. तेव्हा कुठे मोठ्या प्रमाणात लिथिअम तयार करणे शक्य झाले, पण त्यास १८५० साल उजाडावे लागले.

सेलेनिअम

सेलेनिअम हे आणखी एक मूलद्रव्य की ज्याचा शोध लागण्यापूर्वीच रसायज्ञांना ते खूप आधी आढळले तर होते, पण इतर तशाच समानधर्मी मूलद्रव्यांच्या आड जणू ते छपून राहिल्यामुळे ओळखता येत नव्हते. अशा

प्रकारे, गंधक व टेल्युरिअम यांच्यामागे "दडून" बसल्यामुळे सेलेनिअम प्रकाशात येऊ शकले नाही. अखेर १८१७ मध्ये, जे. बर्झेलिअस या सुप्रसिद्ध स्विडिश रसायज्ञास व त्याच्या जी. गाहन या सहाय्यकास त्यास शरण येणे भाग पडले! सप्टेंबर २३ रोजी सल्फ्युरिक आम्लाच्या ग्रिप्शॉमधल्या एका कारखान्याची तपासणी करताना काहीसा तांबडया रंगाचा व काहीसा तपकिरी रंगाचा असा अल्पसा साखा सल्फ्युरिक आम्लाच्या तळाशी जमलेला दिसला. फुंकनळीच्या सहाय्याने तो ज्योतीमध्ये तापविला असता या साख्यातून मुळयासारखा पण सौम्यसा उग्र वास आला व साक्याचे शिशाप्रमाणे चमक मारणाऱ्या एका हीनधातूत (अथवा फारच अशुद्ध प्रतीत) रूपांतर झाले. त्या विशिष्ट वासावरून क्लॅप्रॉथने अनुमान काढले की त्या हीनधातूत टेल्युरिअम असले पाहिजे. आम्लाच्या उत्पादनार्थ फालून खाणीतील पायराइट खनिजांचे जेव्हा उत्खनन केले जाई तेव्हाही असाच वास येतो हे ध्यानात आलेच होते. या साऱ्या पार्श्वभूमीमुळे त्या तांबडया-तपकिरी साख्यात एखादा नवा धातु असलाच तर त्याचा शोध लावण्यास बर्झेलिअस उद्युक्त झाला. पण त्यास टेल्युरिअम काही त्या साख्यात आढळले नाही. तथापि निराश न होता सल्फ्युरिक आम्लाच्या फालून कारखान्यातून आम्लनिर्मितीसाठी जाळल्या जाणाऱ्या गंधकाचा बराचसा अवशेष त्याने गोळा केला. त्याचे अगदी बारकाईने विश्लेषण केल्यावर बर्झेलिअसने खात्रीपूर्वक निष्कर्ष काढला की त्यामध्ये टेल्युरिअमच्या गुणधर्मांशी मिळताजुळता असा एक अज्ञात धातूचा अंश असावा. नामसाधर्म्यासाठी या नव्या धातूस सेलेनिअम (ग्रीक शब्द सेलेनस म्हणजे चंद्र) असे नाव दिले (जसे आपल्या पृथ्वीसंबंधित असे टेल्युरिअम नाव ठेवले गेले). बर्झेलिअसने सेलेनिअम धातूच्या विविध गुणधर्मांचा अभ्यास करून १८१८ मध्ये ॲनल्स द केमी एट् द फिजिक या मासिकात आपला "फालून खाणीत मिळणाऱ्या गंधकातील नव्या मूलद्रव्याबाबत अभ्यास" हा लेख प्रसिद्ध केला.

सिलिकॉन

ऑक्सिजननंतर पृथ्वीवर अत्यंत विपुल असे जर कोणते मूलद्रव्य असेल तर सिलिकॉनच. तथापि, पृथ्वीच्या कवचापैकी २८ टक्के भाग या मूलद्रव्याचा जरी असला ती ही विपुलता त्याचा लवकर शोध लागण्यास मुळीच

कारणीभूत ठरली नाही. याचे कारण असे होते की त्याच्या ऑक्साइड-पासून सिलिकॉन धातु वेगळा करणे हे महा दुष्कर काम होते.

अगदी प्राचीन काळापासून सिलिकॉन वापरात होता किंवा माहीत होता असे सर्वसाधारणपणे मानण्यास पुष्कळ जागा आहे. अनादि कालापासून त्याची संयुगे माहीत होती व वापरली जात होती (आदिमानवाने ही संयुगे हत्याराच्या रूपात वापरली एवढे सांगितले तरी पुरे आहे). आपण कार्बनचा उल्लेख अनादी कालापासून चालत आलेले मूलद्रव्य असा केलेला आठवत असेलच. तथापि कार्बन हे एक रासायनिक मूलद्रव्य आहे हे केवळ दोनशे वर्षांपूर्वी स्पष्ट झाले. दीर्घकाल वापरली गेलेली काच हीसुद्धा सिलिकॉन-प्रणीत वस्तु आहे, परंतु सिलिकॉनच्या शोधाचा काळ म्हणजे हा धातु — मूलद्रव्य — जेव्हा तयार करण्यात आला ती तारीख असेच समजले जाते, कारण तशी विज्ञानाच्या इतिहासात प्रथा पडली आहे.

अठरावे शतक उलटण्याच्या सुमारास अनेक शास्त्रज्ञांना वाटू लागले की सिलिका अथवा सिलिकामृत्तिकेत (सिलिकॉन डायॉक्साइडमध्ये) बहुधा अज्ञात असे एखादे मूलद्रव्य अवश्य असले पाहिजे व ते त्यांनी वेगळे करण्याचा प्रयत्नही केला. विद्युत प्रवाहाच्या सहाय्याने सिलिकाचे अपघटन करण्याचा एच. डेव्हीने प्रयत्न केला. याच पद्धतीने अनेक अल्कधातु यापूर्वीच मिळ-विण्यात आले होते. पण सिलिकाबाबतीत हे तंत्र यशस्वी ठरले नाही. झळझळित तप्त सिलिकॉन ऑक्साइडवरून पोटॅशिअम धातूची वाफ नेऊन मुक्त असे सिलिकॉन मिळविण्याच्या प्रयत्नातही डेव्हीस यश आले नाही. १८११ मध्ये एल. जे. गे ल्युसॅक व एल. थेनार्ड यांनी ही समस्या सोडवि-ण्याचे ठरविले. सिलिकॉन टेट्राफ्ल्युओराइड व पोटॅशिअम धातु यामध्ये फार तीव्र अशी अभिक्रिया त्यांना पहावयास मिळाली. त्यामध्ये तांबूस-तपकिरी रंगाचे एक संयुग तयार झाल्याचे त्यांना आढळले. पण या संयुगाचे स्वरूप स्पष्ट करण्याचे या शास्त्रज्ञांना जमले नाही. शक्यता आहे की त्यात बऱ्याच प्रमाणात अस्फटिकी स्वरूपातील सिलिकॉन असावे.

अखेर १८२३ मध्ये जे. बर्झेलियस या बाबतीत मोठा नशिबवान ठरला. या स्विडिश शास्त्रज्ञाने चूर्णरूप सिलिकॉन ऑक्साइड, लोह आणि कोळसा एकत्रित स्वरूपात उच्च तपमानात तापविले आणि त्यातून त्यास सिलिकॉन व लोह यांचा मिश्रधातु (फेरोसिलिसिअम) मिळाला. या मिश्रधातूची जडणघडण काय असावी व कशा प्रकारची असावी हे बर्झेलिअसने सिद्ध



जे. बर्झेलिअस

केले. मुक्त स्वरूपात सिलिकॉन मिळविण्यासाठी बर्झेलिअसने गे ल्युसॅक व थेनार्ड यांचीच पद्धत उपयोगात आणली व तपकिरी रंगाचा पदार्थ मिळविला. पाण्याच्या प्रक्रियेमुळे हायड्रोजन बुडबुड्यांच्या स्वरूपात वेगळा झाला आणि मुक्त अवस्थेतील, पण अस्फटिकी स्वरूपाचे सिलिकॉन मिळाले. ते अशुद्ध होते व त्यात पोटॅशिम सिलिकोफ्ल्युओराइड अशुद्ध द्रव्य म्हणून आलेले होते. हे गडद तपकिरी रंगाचे सिलिकॉन अविद्रव्य भुकटीच्या स्वरूपात मिळाले. ही भुकटी दीर्घकाळ धुवून बर्झेलिअसने अशुद्ध द्रव्य नाहीसे केले.

विपुल प्रमाणात पोटॅशिअम धातु मिळविण्यासाठी पोटॅशिअम फ्ल्युओरो-सिलिकेटचे संयुग भाजण्याची (निस्तापित करण्याची) आणखी एक पद्धत बर्झेलिअसने सुचविली व ती अधिक यशस्वी व सरलस्वरूपी ठरली, भाजण्या-मुळे एकत्रित स्वरूप मिळालेला (सिंटरीकरण झालेला) पदार्थ पाण्याच्या योगे अपघटित केला गेला आणि त्यामुळे शुद्ध, अस्फटिकी पदार्थ ऊर्फ सिलि-कॉन प्राप्त झाले. बर्झेलिअसने सिद्ध केले की भाजण्यामुळे सिलिकॉनचे रूपांतर सिलिकामध्ये झाले. यामुळे बर्झेलिअस हा सिलिकॉनचा शोधक ठरला. १८५४ मध्ये ए. सेंट क्लोअर दव्हिल याने धातुरूप ॲल्युमिनिअम अलग

करतेवेळी स्फटिकरूप सिलिकॉन मिळविले. या मूलद्रव्याचे "सिलिसिअम" हे लॅटिन नाव "सायलेक्स" म्हणजे "टणक दगड" यापासून निर्माण झाले.

ॲल्युमिनिअम

ॲल्युमिनिअमवर इतिहासाने अन्यायच केलेला दिसतो. ऑक्सिजन व सिलिकॉननंतर पृथ्वीतरील तिसऱ्या क्रमांकाचे हे सर्वात मुबलक मूलद्रव्य असून पृथ्वीवर बहुधा ते सर्वत्र (निदान २५० खनिज-प्रकारांमध्ये) आढळते. असे असूनही त्याचा शोध लागण्यास १८२५ साल उजाडावे लागले. याचे कारण योगायोग किंवा ते अपघाती स्वरूपाचे मुळीच नाही तर ॲल्युमिनिअम ऑक्साइडचे आत्यंतिक स्वरूपाचे रासायनिक स्थैर्य हे होय. यामुळे ऑक्साइडपासून धातुरूप ॲल्युमिनिअम अलग करणे ही आजसुद्धा जर कारखानदारांची मोठी व खर्चिक समस्या असते, तर मग गतशतकाबद्दल तर बोलावयासच नको. कोळसा किंवा हायड्रोजन यासारखे क्षपणकारी प्रकार ऑक्साइडपासून ॲल्युमिनिअम अलग करण्यास केवळ असमर्थ ठरतात. केवळ अल्कधातुंच्या व सर्वप्रथम पोटॅशिअमच्या सहाय्यानेच हा "दुर्गम ॲल्युमिनिअमनिवासी गड" जिंकणे शक्य झाले. यावरून ध्यानात येईल, की काही मूलद्रव्यांचे शोध म्हणजे इतरांच्या शोधांची जणू पूर्वतयारीच ठरते. मुक्त अवस्थेतील ॲल्युमिनिअम प्रथम पोटॅशिअमच्या सहाय्याने तयार केले गेले हे पाहता वरील विधान लगेच पटते.

अगदी पूर्वीच्या काळीही माणसास ॲल्युमिनिअम संयुगांचे विविध प्रकार परिचित होते. माती आणि विटा म्हणजे दुसरेतिसरे काही नसून निव्वळ ॲल्युमिनोसिलिकेट संयुगे होत. ॲल्युमिना (ॲल्युमिनिअम ऑक्साइड) हा तर माणसाचा कित्येक शतकांचा सहप्रवासी, पण त्यामध्ये एका नव्या धातूचे अस्तित्व आहे हे सिद्ध करण्यास शतकानुशतकांचा काळ लोटावा लागला. माणिक आणि लाल इंद्र-नील आणि पिरोजा (वैदूर्य) अशा दीर्घकाळ परिचित असणाऱ्या मूल्यवान खड्यांचा (रत्नांचा) ॲल्युमिनिअम तर महत्त्वाचा घटक आहे. या खड्यांना लॅटिनमध्ये ॲल्युमेन असे नाव असून भावी "अल्युमिनिअम"या नावाचे मूळ त्यातच सापडते. तथापि, तुरटी ऊर्फ ॲलम या संयुगाचे घटक मात्र दीर्घकाळ ओळखता आले नाहीत एवढेच नव्हे तर इतर संयुगांबरोबर त्यामुळे गोंधळ निर्माण होत असे.

१७५४ मध्ये जर्मन शास्त्रज्ञ मार्गग्राफ याने या प्रश्नाबाबत विचार करून तो उकलण्याचा प्रयत्न केला. त्याने तुरटीच्या द्रावात शुद्ध अल्कद्रव्य मिसळले असता दाट पांढरा साखा तयार झाला. त्यास मार्गग्राफने "तुरटीची मृत्तिका (ॲलम) असे म्हटले. या मृत्तिकेत सल्फ्युरिक आम्ल मिसळता तीपासून तुरटी तयार झाली. अशाप्रकारे तुरटीतील घटकद्रव्ये नक्की केली गेली. अखेरीस, मृत्तिकांमध्ये या तुरटी-मृत्तिकेचे अस्तित्व असते असे मार्गग्राफने दाखवून दिले. इतिहासात जर घडावयाचेच असते तर या मूलद्रव्याचा शोधक म्हणून मार्गग्राफचा सर्वत्र बोलबाला झाला असता, पण कोणासाठी तरी इतिहास थांबला होता असे म्हणावेसे वाटते. मार्गग्राफच्या प्रयोगांनंतर तीस वर्षांनी स्पष्ट झाले की ॲल्युमिना म्हणजे एका अज्ञात मूलद्रव्याचे ऑक्साइड आहे. हे सूचित केले ए. लव्हॉसिए याने व आपल्या "साध्या पदार्थांच्या कोष्टकात" ऑल्युमिनाचा सामावेश केला. पण हे मूलद्रव्य मुक्त अवस्थेत मिळविण्याचा कोणताच प्रयत्न काही काळ केला गेला नाही.

या संबंधात पहिले प्रयत्न एच्. डेव्ही व जे. बर्झेलियस यांनी केले. त्यांनी विद्युतप्रवाहाच्या सहाय्याने ॲल्युमिनाचे अपघटन करून पाहिले, पण व्यर्थ. १८०७ मध्ये हा धातु मिळाला नव्हताच तरी पण डेव्हीने ॲल्युमिनिअम हे काही व्यावहारिक महत्त्व असलेले नाव सुचविले व ते आंतरराष्ट्रीय मान्यतेचे ठरले. फक्त रशियात "ग्लिनिअम" ("माती" या अर्थी असणाऱ्या रशियन शब्दावरून) हा शब्द बराच काळ प्रचारात होता.

धातुस्वरूपात ॲल्युमिनिअम मिळविण्याचा प्रयत्न एच. ओर्स्टेड या डॅनिश व्यक्तीने केला. इतिहासात त्याचा उल्लेख रसायनज्ञापेक्षा भौतिकशास्त्रज्ञ म्हणूनच केलेला पहावयास मिळतो. विद्युत प्रवाहाच्या चुंबकीय क्षेत्राचे प्रेरण हा आविष्कार त्याने शोधून काढला खरा पण शुद्ध ॲल्युमिनिअम तयार करून आपण एक वाकबगार रसायनज्ञही आहोत असेच जणू त्याने निदर्शनास आणले. प्रथम त्याने ॲल्युमिनाचे कोळशासह मिश्रण झगझगीत 'लाल' उष्णतेत तापविले व तशा अवस्थेत त्यामधून क्लोरीन वायु नेला. परिणामी निर्जल स्वरूपाचे ॲल्युमिनियम क्लोराइड तयार झाले. मग त्या शास्त्रज्ञाने हे नवे संयुग पोटॅशिअम–पारदमिश्राबरोबर तापविले आणि त्यायोगे प्रथमच ॲल्युमिनियमचे पारदमिश्र मिळवले. त्यातील पाऱ्याचे बाष्पीभवन करताच त्यास जस्ताप्रमाणे दिसणारे धातूचे गोलसर तुकडे

आढळून आले. त्यात अशुद्धता होती, पण ॲल्युमनिअिमचा जन्म झाला असेच ही घटना सांगते. ओर्स्टेडने आपले संशोधन एका लेखाद्वारे 'डॅनिश जर्नल'-मध्ये प्रसिद्ध केले. पण ते फारसे प्रचारात नसल्यामुळे वैज्ञानिक जगात या संशोधनाची व शोधाची जवळजवळ अजिबात दखल घेतली गेली नाही अथवा कित्येक शास्त्रज्ञांच्या ते कानीच गेले नाही. याचा परिणाम असा झाला की काही इतिहासकार ॲल्युमिनिअमचा संशोधक आर्स्टेड न समजता ते श्रेय एफ. वोलरला देतात.

त्यानंतर दोन वर्षांनी म्हणजे १८२७ मध्ये ॲल्युमिनिअमचा दुसऱ्यांदा शोध लावला गेला. ओर्स्टेडपेक्षा एफ. वोलर प्रायोगिक कामात निर्विवादपणे अधिक तरबेज व कुशल असा रसायनज्ञ होता हे मान्य करावयासच हवे. शुद्ध ॲल्युमिनिअम वेगळे करण्याची त्याची पद्धतही अधिक प्रगत स्वरूपाची होती. सुरुवातीस वोलरने डॅनिश शास्त्रज्ञाच्या पद्धतीनुसारच हा धातु मिळ-विण्याचा प्रयत्न केला, पण यश आले नाही. पण नंतर मात्र अल्प प्रमाणात निर्जल असे ॲल्युमिनिअम क्लोराइड मिळविण्यात तो यशस्वी झाला. त्यासाठी वोलरने आपली अशी स्वतंत्र पद्धत शोधून काढली: (१) ॲल्युमिनिअम हायड्रॉक्साइडची निर्मिती (२) ॲल्युमिनिअम हायड्रॉक्साइड, कोळसा व वनस्पती-तेल यापासून दाटसर मिश्रण-पेस्ट-तयार करणे; (३) हे दाटसर मिश्रण भाजणे (निस्तापित करणे) आणि त्यायोगे ॲल्युमिनिअम व कोळसा (कार्बन) यांचे मिश्रण तयार होणे (४) त्यामधून कोरडा क्लोरीन नेऊन $AlCl_3$ ची निर्जल प्रत तयार करणे. हे गुंतागुंतीचे काम ठरले खरे पण याचे फल तयार होणाऱ्या पदार्थाच्या अधिक शुद्ध प्रतीच्या रूपाने मिळाले. नंतर वोलरने अधिक शुद्ध स्वरूपाचा धातु मिळविण्याच्या दृष्टीने जरूर त्या सर्व खबरदाऱ्या घेऊन पोटॅशिअमच्या सहाय्याने $AlCl_3$ चे अपघटन केले. धातुरूप ॲल्युमिनिअमचे निश्चित व अगदी महत्त्वपूर्ण असे गुणधर्म विशद करणारा वोलर हा पहिला रसायनज्ञ ठरला. पुढे १८४५ मध्ये त्याने विटे-च्या किंवा ठोकळयाच्या स्वरूपात हा धातु तयार केला.

तथापि त्याच्या पूर्वीच्या शास्त्रज्ञाप्रमाणेच वोलरला ॲल्युमिनिअमची शुद्ध प्रत मिळविता आली नाही. याबाबतीत निर्णायक कृती फ्रेंच रसायनज्ञ ए. सेंट क्लेअर दव्हिल याची ठरली. त्याने १८५४ मध्ये पोटॅशिअमऐवजी सोडिअमचा वापर केला व शुद्ध धातूचे नमुने तयार केले. बुनसेनबरोबर एकाच वेळी द्वि-क्लोराइड ॲल्युमिनिअम व सोडिअम यांचे त्याने विद्युत-

अपघटन केले. विद्युतरासायनिक पद्धतीमार्गे ॲल्युमिनिअम मिळविल्याची ही पहिलीच घटना होय. ॲल्युमिनिअम उत्पादनाची औद्योगिक पद्धत विकसित करण्यातही ए. सेंट क्लेअर दव्हिल यानेच पुढाकार घेतला.

केवळ एक शतकापूर्वी हा धातु अत्यंत महागडा समजला जात होता यावर सहजासहजी विश्वास बसणार नाही. त्यास "मृत्तिकेतील रूपे" असेच म्हणत. ॲल्युमिनिअमच्या वस्तूंना सोन्याच्या वस्तूंपेक्षा काही कमी किंमत पडत नव्हती. पुढे जेव्हा विद्युतऊर्जा निर्मितीचे स्वस्त उपाय रूढ झाले आणि खनिजांचे (विशेषतः बॉक्साइटचे) संपन्न, विपुल साठे उपलब्ध झाले तेव्हाच कुठे सर्वांचा, रोजच्या वापराचा धातु म्हणून ॲल्युमिनिअम ओळखले जाऊ लागले.

थोरिअम

१८१५ मध्येच जे. बर्झेलिअसने त्या विशिष्ट मूलद्रव्यास थोरिअम असे स्कॅंडेनेव्हियातील वादळाचा देव थॉर च्या सन्मानार्थ नाव दिले. मूलद्रव्यांचा संशोधक म्हणून प्रसिद्धी पावलेल्या बर्झेलिअसने त्यावर्षी एखादे नवे मूलद्रव्य आपणास सापडेलच असा अंदाच केला होता, पण प्रत्यक्षात मात्र कोणतेच नवे मूलद्रव्य त्यास शोधता आले नाही. त्याने फालून खाणीतील एक दुर्मिळ खनिजप्रकार विश्लेषित केला होता व त्यामध्ये सापडलेल्या एका संयुगाबाबत त्याने असा अंदाज बांधला की ते कोणत्यातरी अज्ञात मूलद्रव्याचे ऑक्साइड असावे. अस्तित्वात असणाऱ्या मूलद्रव्यांच्या यादीत आणखी एकाची भर टाकण्यास एवढे निमित्त पुरे आहे असे बर्झेलिअस सोयीस्करपणे समजला. शिवाय बर्झेलियसच्या नावाचा दबदबाच एवढा परिणामकारक होता की त्याच्या या कृत्याबद्दल म्हणजेच तथाकथित नव्या मूलद्रव्याच्या "शोधा"-बाबत त्याच्या कोणत्याच समकालीन रसायनज्ञाने शंका व्यक्त करणे शक्यच नव्हते. पण स्वतः बर्झेलिअसलाच शंका वाटत होती व ते अगदी योग्य होते. कारण दहा वर्षांनंतर असे दाखविण्यात आले की त्याने ज्या ऑक्साइड द्रव्याचे निरीक्षण केले होते ते वस्तुतः वायट्रिअम फॉस्फेट आहे. (वायट्रिअम फार पूर्वीच माहीत झालेले होतेच.) अशा प्रकारे पूर्वीच्या संशोधनाच्या "यशा"वर १८२५ मध्ये बोळा फिरविला गेला.

त्यानंतर एक वर्षाने "पायरोक्लोअर" या नावाने माहीत असणाऱ्या नॉर्वेतील एका दुर्मिळ खनिज-प्रकारात आपणास एक नवे मूलद्रव्य सापडले

आहे असे एफ. वोलरने वृत्त दिले. पण वोलरने स्वतःच त्याकडे फारसे लक्ष वा महत्त्व दिले नाही आणि तसे करणे चुकीचे होते असेच पुढे निष्पन्न झाले.

याच सुमारास जी. एस्मार्क यास नॉर्वेच्या किनाऱ्यानजिक असणाऱ्या लेव्हेन या बेटावर वजनदार व कृष्णवर्णी असा एक खनिजप्रकार सापडला. लेव्हेनने त्याचा नमुना जे. बर्झेलिअसकडे पाठवून दिला. बर्झेलिअसनेही त्याचे काळजीपूर्वक विश्लेषण केले. १८२८ मध्ये त्याने अहवाल दिला की या खनिजापासून एका नव्या मूलद्रव्याची सिलिकेट-संयुगे आपण वेगळी केली आहेत. पूर्वीच दिलेले "थोरिअम" हे नाव उपयुक्त ठरले. थोरिअम-२ चे उद्गमस्थान ठरलेल्या या खनिजास बर्झेलिअसने "थोराइट" असे नाव दिले.

बर्झेलिअसने जेव्हा थोरिअमचे गुणधर्म अभ्यासिले तेव्हा मात्र वोलरचे तिकडे लक्ष गेले आणि त्याला समजून चुकले की १८२६ मध्ये ज्या मूलद्रव्याकडे आपण दुर्लक्ष केले त्याच्याशी बर्झेलिअसने निरीक्षिलेले गुणधर्म अगदी मिळतेजुळते असेच आहेत. पण वोलरची खंत एवढ्यानेच संपणार नव्हती. सहा वर्षानंतर प्रसिद्ध जर्मन शास्त्रज्ञ आणि प्रवासी डब्ल्यु. हंबोल्ट याने त्यास सैबेरियातील पायरोक्लोअरचा नमुना नजर केला. काही वर्षांपूर्वी वोलरने जसे नॉर्वेतील पायरोक्लोअरपासून थोरिअम शोधले तसेच ते त्यास सैबेरियाच्याही पायरोक्लोअरमध्ये सापडले. वोलरची खंत कितीतरी पटींनी वाढली, थोरिअमने त्यास चांगलेच चकविले.

शुद्ध थोरिअम अलग करण्याचा बर्झेलिअसने प्रयत्न केला, पण व्यर्थ. कित्येक काळ हे मूलद्रव्य ऑक्साइडच्या स्वरूपातच माहीत होते आणि केवळ १८७० च्या दशकातच ते धातुरूपात मिळविणे शक्य झाले. म्हणजे, थोरिअम हे युरेनिअमनंतर पारंपारिक रासायनिक विश्लेषणमार्गे संशोधिले जाणारे पण किरणोत्सार गुणधर्माशी अर्थाअर्थी कोणताच संबंध नसलेले असे दुसरे किरणोत्सारी मूलद्रव्य होय.

व्हॅनॅडिअम

फार फार पूर्वीच्या काळची गोष्ट. अति उत्तरेकडे व्हॅनॅडिस नामक एक अतिसुंदर देवता राहत होती. एक दिवस ती स्वस्थपणे बसली असता दारावर कोणीतरी टक्टक् केल्याचे तिने ऐकले. ती मनात उद्गरली, "बघु

या परत एकदा दार ठोठावले जाते का." पण तसे काही झाले नाही, उलट कोणीतरी परतल्याचा आवाज ऐकू आला. त्या देवतेचे कुतुहल जागृत झाले व ती पुटपुटली, कोण बरे एवढा मर्यादाशील व लाजरा पाहुणा असावा?" तिने खिडकी उघडून बाहेर पाहिले, तर तिला वयोवृद्ध वोलर हा शास्त्रज्ञ परतताना दिसला. अर्थात वोलरने जर थोडा धीर धरला असता तर रूपवान देवतेच्या कृपाकटाक्षाचा तो धनी झाला असता...

काही दिवस गेले व या देवतेने दार ठोठावल्याचे पुन्हा एके दिवशी ऐकले, पण ते ठोठावणं यावेळी बंद न पडता दार उघडेपर्यंत चालूच राहिले. व्हॅनॅडिसने दार उघडले तो तिच्या नजरेस नील्स सेफस्ट्रॉम पडून ती लाजेने गोंधळून गेली. दोघेही एकमेकांच्या प्रेमात तात्काळ पडले आणि त्याची परिणिती एक बालक जन्मण्यात झाली त्या दोघांनी आपल्या मुलाचे व्हॅनॅडिअम असे नाव ठेवले. ते तर नव्या धातूचे नाव होते...

स्विडिश रसायनज्ञ बर्झेलियस याने २८ जानेवारी १८३१ रोजी एफ. वोलर यास लिहिलेल्या आपल्या पत्रात व्हॅनॅडिअमच्या शोधाचा वृत्तांत वरील प्रकारे कळविला आहे! ही कथा काहीशी चमत्कृतीपूर्ण असून विविध रंगी मनोहरी क्षारपदार्थ तयार करणाऱ्या व्हॅनॅडिअमच्या पात्रतेचा तर कथेशी सुतराम संबंध आणला नाही.

मेक्सिकोतील चिमॅपान खेड्यानजिकच्या भागात शिशाच्या खनिजाच्या खाणी आढळल्या होत्या आणि १८०१ मध्ये त्यातील काही नमुना अँडेस मॅन्युएल डेल रिओ या मेक्सिको शहरातील खनिजशास्त्राच्या प्राध्यापकांच्या हाती पडला. विश्लेषण कामातही अगदी निपूण असणाऱ्या या शास्त्रज्ञाने हा नमुना अगदी बारकाईने तपासला व निष्कर्ष काढला की नमुन्यात क्रोमिअम व युरेनिअमसदृश एक नवा धातु असणे शक्य आहे. या धातूची विविध संयुगे डेल रिओने मिळविली असता ती वेगवेगळ्या रंगाची आढळली. त्या शास्त्रज्ञाने म्हणूनच सर्वरंगी या अर्थाच्या ग्रीक शब्दावरून "पॅन्क्रोमिअम" असे नाव दिले. पण पुढे ते बदलून "एरिट्रोनिअम" ("तांबडा" या अर्थी) हे नाव दिले, कारण उष्णतेमुळे या नव्या मूलद्रव्याचे अनेक क्षार तांबड्या रंगाचे बनतात असे लक्षात आले. मात्र युरोपमधल्या रसायनज्ञांना डेल रिओ हे नाव अजिबात ठाऊक नव्हते आणि त्यांना जेव्हा त्याच्या संशोधनाबाबत कळले तेव्हा त्यांनी शंका व्यक्त केली. गंमत अशी झाली की या मेक्सिकन खनिजतज्ज्ञाचाही आत्मविश्वास डळमळला, "एरिट्रोनिअम"-

च्या अभ्यासानंतर त्याने आपले शोध-कार्यच बंद केले आणि सांगून टाकले की "नवे मूलद्रव्य" म्हणजे दुसरेतिसरे काही नसून लेड क्रोमेट आहे. मग त्याने "चिमॅपॅन येथील शिसेखनिजातील क्रोमिअमचा शोध" हा आपला नवा लेख युरोपला पाठविला. पॅरिसच्या एच. कॉलेट-डेस्कॉइटिज याने चिमॅपॅन खनिजाचा नमुना १८०९ मध्ये तपासला व मेक्सिकन शास्त्रज्ञाचा निष्कर्ष चुकीचा असल्याचे सिद्ध केले, चुकीचा अशासाठी की डेल रिआने खरोखरीच व्हॅनॅडिअम शोधले होते. पण डेल रिओ आपल्या निष्कर्षांबाबत एवढा का साशंक होता ते सांगणे अवघड आहे. पुढे १८३२ मध्ये व्हॅनॅडिअमचा दुसऱ्यांदा शोध लागल्यानंतर त्याने खनिजशास्त्रावरील एका क्रमिक पुस्तकात लिहिले की आपण ज्या धातूचा शोध लावला तो क्रोमिअम नसून व्हॅनॅडिअम आहे. पण व्हॅनॅडिअमच्या शोधाचे श्रेय एन. सेफ्स्ट्रॉम या स्विडिश रसायनज्ञाकडे जाते.

सेफ्स्ट्रॉमनेच १८३० मध्ये टेबर्ग खाणीतल्या लोह खनिजापासून या नव्या मूलद्रव्याचा अल्पसा अंश अलग केला. या शोधाच्या थोडेसेच आधी एफ. वोलरने चिमॅपॅन खाणीतील शिशाचे खनिज अभ्यासिले. याच चिमॅपॅन खनिजात तीस वर्षांपूर्वी ए. डेल रिओ यास "एरिट्रोनिअम" सापडले होते. वोलरने २ जानेवारी १८३१ रोजी जे. लिबिग यास लिहिले की या खनिजात असणारे काहीतरी "नवे" आपण केव्हाच शोधून काढले आहे, तथापि हायड्रोजन फ्ल्युओराइड वाफेसह प्रायोगिक काम करतेवेळी वोलरला विषबाधा झाली आणि काम करण्यास तो कित्येक महिने असमर्थ ठरला. त्यातच त्याने जेव्हा सेफ्स्ट्रॉमच्या शोधाचे वृत्त ऐकले तेव्हा त्याची केवढी निराशा झाली असेल याची कल्पनाच केलेली बरी. बर्झेलिअसने आपल्या मित्राचे व सहकाऱ्याचे सांत्वन करणाऱ्या पत्रात लिहिले की ज्या रसायनज्ञाने एक कार्बनी संयुग संश्लेषित करण्याची कामगिरी बजावली आहे (वोलरने युरिआ हे संयुग संश्लेषित करण्याचे तंत्र शोधून काढले होते.) त्याने नवे मूलद्रव्य शोधल्याचा हक्क सोडून देण्यात काहीच कमीपणा नाही, कारण त्याची कामगिरी जणू दहा नवी मूलद्रव्ये शोधून काढण्याएवढी श्रेष्ठ आहे. बर्झेलियस व सेफ्स्ट्रॉम या दोघांनी, स्कँडिनेव्हिअन सौंदर्यदेवता व्हॅनॅडिस हिच्यावरून "व्हॅनॅडिअम" असे या नव्या मूलद्रव्याचे नामकरण केले. मध्यंतरीच्या काळात वोलरने मेक्सिकोत सापडलेल्या त्या खनिजाचा अभ्यास संपविला आणि डेल रिओच्या समजुतीप्रमाणे त्यात क्रोमिअम नसून व्हॅनॅडिअम आहे असे सिद्ध केले. त्यानंतर

खनिजाचे "व्हॅनॅडिनाइट" असे नाव ठेवले गेले व पृथ्वीच्या पाठीवर ते वेगवेगळ्या भागात सापडते असे आढळून आले. व्हॅनॅडिअमच्या कथेतील अखेरच्या भागात इंग्रज रसायनज्ञ एच. रोस्की याचे नाव प्रामुख्याने येते. त्याने व्हॅनॅडिअमच्या रासायनिक गुणधर्मांचा सखोल अभ्यास केला व दाखवून दिले की हे मूलद्रव्य क्रोमिअम तसेच युरेनिअम या दोघांशीही मुळीच जुळणारे नाही. साम्य असलेच तर एका बाजूस निओबिअम व टँटॅलम यांचेही व दुसऱ्या बाजूस फॉस्फरस गटाच्या मूलद्रव्यांशी. १८६९ मध्ये धातुरूप व्हॅनॅडिअम तयार करण्यात रोस्की यशस्वी ठरला. या शास्त्रज्ञाच्या कामाबद्दल डी. आय. मेंदेलेयेव यानी फार प्रशंसोद्गार काढले असून आवर्ती नियम सिद्ध करण्यात या कामाने फार महत्त्वपूर्ण मदत केली असा विश्वास त्यांनी व्यक्त केला.

प्रकरण ५ वे

विद्युत्रासायनिकमार्गे शोधलेली मूलद्रव्ये

या छोटयाशा प्रकरणात सोडिअम व पोटॅशिअम या दोन अल्क धातूंचा आणि मॅग्नेशिअम व कॅल्शिअम या दोन अल्कधर्मी मृत्तिका धातूंचा शोध कसा लावला गेला याची माहिती वाचावयास मिळेल. १९ व्या शतकाच्या पहिल्या दशकात अगदी सरळ मार्गे आणि मुक्त अशा अवस्थेत त्यांचा शोध लावला गेला. या धातूंची संयुगे अति प्राचीन कालापासून प्रचलित होती आणि त्यामुळेच नेहमीचे खाण्याचे मीठ, पोटॅश (पोटॅशिअम कार्बोनेट), चुना (कॅल्शिअम ऑक्साइड), मॅग्नेशिया (मॅग्नेशिअम ऑक्साइड) यांचा उपयोग केव्हापासून सुरू झाला ते कमीजास्त अचूकपणे ठरविणे फारच अवघड आहे. एवढे खात्रीपूर्वक म्हणता येते की ही सारी संयुगे, त्यातील धातु शोधण्याच्या कितीतरी आधीपासून माणसाचे सहप्रवासी होते.

ए. लव्हॉसिएने चुना आणि मॅग्नेशिया यांचा आपल्या "साध्या पदार्थांच्या कोष्टका"त अंतर्भाव केला पण पोटॅशिअम व सोडिअम हायड्रोक्साइडांना वगळले. त्याच्या मते ही संयुगे फार गुंतागुंतीच्या स्वरूपांची असून त्यांच्या स्वरूपांबाबत अधिक अभ्यास होणे जरूरी आहे. इतिहासाने या मूलद्रव्यांवर अन्याय केला असेच एखादा म्हणेल. उदाहरणार्थ, बेरिअम त्याच्याबरोबरच धातुरूपात अलग करण्यात आले, पण त्याचा शोध मात्र कितीतरी आधी लावला गेला. तथापि इतिहास एखाद्या स्वच्छंदी स्त्रीप्रमाणे असतो! एका दृष्टीकोनातून मात्र सोडिअम, पोटॅशिअम, मॅग्नेशिअम व कॅल्शिअम यांचे शोध उल्लेखनीय आहेत, कारण त्यामुळे पहिल्या प्रथमच विद्युतप्रवाहाचा यशस्वीरित्या वापर झाला आणि रासायनिक विश्लेषणाची एक शाखा म्हणून विद्युत्रासायनिक पद्धत प्रचारात आली. पुढे मग जे धातु त्यांच्या संयुगांमध्ये पूर्वी सापडले होते ते संयुगे वितळवून व त्यांचे विद्युतअपघटन करून मिळविले गेले.

हे दृष्टीसमोर असल्यामुळेच सोडिअम, पोटॅशिअम, मॅग्नेशिअम आणि कॅल्शिअम यांच्या शोधांचा इतिहास सांगण्यासाठी एक वेगळेच प्रकरण देणे आम्हास उचित वाटते. या शोधांचा एकूण कालावधी दोन वर्षांचा असून विद्युत्रासायनशास्त्राच्या संस्थापकांपैकी एक–एच. डेव्ही हा प्रधानपुरुष ठरतो!

सोडिअम आणि पोटॅशिअम

फार पूर्वीपासूनच माणसास सोडिअम व पोटॅशिअम यांची संयुगे माहीत आहेत. इजिप्तमध्ये धुलाईच्या कामासाठी या धातूंची कार्बोनेटवर्गीय संयुगे वापरात होती. नेहमीचे खाण्याचे मीठ हे सोडियम संयुगांपैकी अत्यंत परिचयाचे, व्यापक उपयोगाचे व अन्नपदार्थात महत्त्वपूर्ण घटक म्हणून अति प्राचीन काळापासून वापरात आहे, किती प्राचीन ते सांगणे केवळ अशक्य आहे. काही देशांमध्ये तो अतिशय महागडा पदार्थ गणला जात होता आणि मिठाच्या खाणींबाबत मालकी हक्काचे वाद निर्माण होऊन युद्धे खेळली गेली. सोडिअम कार्बोनेट (धुण्याचा सोडा ऊर्फ वॉशिंग सोडा) बहुधा क्षारजलांच्या तळ्यांपासून मिळविला जात असे तर पोटॅशिअम कार्बोनेट (पोटॅश) वनस्पतींच्या राखेपासून (राखेचे अपक्षालन करून) मिळवत. या कारणांसाठी त्यांना अनुक्रमे खनिज-क्षार व वनस्पती-क्षार अशी नावे दिली गेली. क्षार या अर्थी अल्कली हा शब्द गेबर या मध्ययुगीन किमयागाराने दिला, पण या दोन क्षारांमध्ये त्याने कोणताच भेदभाव केला नाही. त्याच्या स्वरूपात फरक असल्याचे प्रथमतः १६८३ मध्ये ध्यानात आले. या बाबतीत डच शास्त्रज्ञ आय. बॉन याला आढळून आले की जेव्हा सारख्याच प्रक्रियांमध्ये सोडा आणि पोटॅश वापरले जातात तेव्हा जे स्फटिक साखारूपाने अलग होतात त्यांचे आकार भिन्न असतात.

१७०२ मध्ये जी. स्टाल याने काही सोडिअम व पोटॅशिअम संयुगांच्या स्फटिकात फरक असल्याची नोंद घेतली. सोडा व पोटॅश या दोन संयुगातील फरक ध्यानात घेण्याच्या दृष्टीने हा महत्त्वाचा टप्पा समजण्यात येतो. पुढे १७३६ मध्ये ए. द मॉन्सिअन या फ्रेंच रसायनज्ञाने सिद्ध केले की खाण्याचे मीठ, ग्लॉबर-सॉल्ट (स्फटिकरूप सोडिअम सल्फेट) आणि बोरॅक्स यांमध्ये सोडा नेहमीच असतो. सोड्याचा आम्लधर्मी घटक माहीत असल्यामुळे त्याच्या क्षारधर्मी घटकाच्या स्वरूपाबद्दल फार कुतुहल होते. मॉन्सिअनच्या

मते जर सल्फ्युरिक आम्लामुळे सोड्यापासून ग्लॉबरचे सॉल्ट तयार होते, घनाकृती सॉल्टपीटर (सोडिअम नायट्रेट) नायट्रिक आम्लासह तयार होते आणि हायड्रोक्लोरिक आम्लामुळे सागरी जलापासून अनेक क्षारद्रव्ये तयार होतात, तर मग या उदाहरणांवरून सोडा सागरी क्षारांचा पायाभूत पदार्थ आहे असा निष्कर्ष काढण्यास काय हरकत असावी?

अल्कधर्मी मृत्तिका या धातूंची ऑक्साइडे आहेत असा शास्त्रज्ञांना दीर्घकाळ संशय होता खरा, पण सोडा आणि पोटॅश यांचे स्वरूप अगदी १९ व्या शतकाच्या सुरुवातीपर्यंत अभ्यासिलेच गेले नाही. अगदी लव्हॉसिए-लाही याबाबत निश्चित कल्पना नव्हती. सोडा व पोटॅश यांचे आम्लारी धर्मी घटक कोणते हे त्यास माहीत नव्हते व बहुधा नायट्रोजन एक घटक असणे शक्य आहे अशी त्याची समजूत होती. बहुधा सोडिअम, पोटॅशिअम व अमोनिअम क्षारांमधल्या सारखेपणामुळे हा गोंधळ निर्माण झाला असावा.

हे घटक निश्चित करण्याचे श्रेय एच. डेव्हीला मिळते. प्रथम त्याला अपयशांनी बरेच सतावले. गल्व्हानीय विद्युतघटाच्या सहाय्याने सोडा आणि पोटॅशमधले धातु काही त्यास वेगळे करता आले नाही. पण लवकरच या शास्त्रज्ञास त्याची चूक कळली, त्याने संपृक्त अशी जलीय द्रावणे वापरली होती आणि हे पाण्याचे अस्तित्वच अपघटनाच्या आड येत होते. १८०७ च्या ऑक्टोबरमध्ये निर्जल पोटॅश वितळवून त्याचे विद्युत्विश्लेषण करावे असे डेव्हीने ठरविले. वितळलेल्या व अल्कधर्मी हायड्रॉक्साइडचे विद्युतअपघटन सुरू करताच पाऱ्यासारखे छोटे छोटे चकचकीत गोलक वितळलेल्या पदार्थात बुडविलेल्या ऋण विद्युतग्रावर जमा झालेले दिसले. त्यापैकी काही गोलक तात्काळ स्फोट पाऊन तेजस्वी ज्योत तयार झाली, तर इतर न जळता निस्तेज होऊन पांढऱ्या पापुद्र्याने आच्छादिले गेले. डेव्हीस ज्या पदार्थाची अपेक्षा होती तो म्हणजेच हे गोलक होते आणि हा पदार्थ म्हणजे अति ज्वालाग्राही पोटॅशिअम हायड्रॉक्साइड होता.

डेव्हीने या धातूचा बारकाईने व सखोल अभ्यास केला आणि त्यास असे समजून चुकले की ते जेव्हा पाण्याशी प्रक्रिया पावले त्यावेळी ताबडतोब हायड्रोजन वेगळा होऊन जळू लागला व ज्योत दिसू लागली. पोटॅशिअम हायड्रॉक्साइडपासून धातु मिळविल्यानंतर डेव्हीने सोडिअम हायड्रॉक्साइडचा वेध घेण्यास सुरुवात केली व त्यासाठी हीच पद्धत वापरली. आणखी एक अल्कधर्मी धातु अलग करण्यात त्यास यशही आले. या शास्त्रज्ञाने एक



एच. डेव्ही

वस्तुस्थिती मात्र ध्यानात घेतली, ती ही की सोडिअम धातु अलग करण्यासाठी पोटॅशिअमच्या मानाने खूपच अधिक शक्तिशाली विद्युतघटाची जरूरी असते. तरीपण, दोन्ही धातूंचे गुणधर्म मात्र चांगलेच मिळतेजुळते आहेत असे निष्पन्न झाले.

काही काळापर्यंत डेव्हीने पोटॅशिअम व सोडिअम यांच्या गुणधर्मांचा काळजीपूर्वक अभ्यास केला. काही रसायनज्ञ या मूलद्रव्यांबाबत साशंक होते व त्यांना असे वाटे की ही मूलद्रव्ये नसून ती हायड्रोजनसह असणारी अल्कधर्मी संयुगेच आहेत. तथापि गे ल्युसॅक व थेनार्ड यांनी खात्रीपूर्वक दाखवून दिले की डेव्हीने निःसंशयरित्या "साधे पदार्थ"च मिळविले आहेत.

मॅग्नेशिअम

मॅग्नेशिअम संयुगे, उदाहरणार्थ असबेस्टॉस, टाल्कम (संगजिरे), डोलोमाइट व नेफ्राइट ही फार पूर्वीपासून ठाऊक असून विविध कामांसाठी वापरली जात. परंतु संयुगांचे ते वेगवेगळे प्रकार आहेत असे मात्र समजले न जाता चुन्याचेच प्रकार आहेत असाच समज होता.

१६१८ मध्ये एच. विकर यास इंग्लंडमधील एप्समनजिक खनिज-झरे सापडले. पुढे १६९५ मध्ये या एप्सम खनिज झऱ्यात कडवट चवीचा एक क्षारपदार्थ (मॅग्नेशिअम सल्फेट – एप्सम सॉल्ट) शोधला गेला व त्याचा पुढे वैद्यकीय क्षेत्रात वापर होऊ लागला.

शास्त्रज्ञांनी नंतर सिद्ध केले की कृत्रिमरित्या एप्सम सॉल्ट तयार करणे शक्य आहे. समुद्रजलातून निष्कर्षित केलेले (अर्करूपाने वेगळे केलेले) क्षार शुद्ध केल्यावर खाली जे शेष द्रावण उरते त्यात सल्फ्युरिक आम्ल मिसळल्यास असे कृत्रिम एप्सम सॉल्ट तयार होते. एप्सम सॉल्ट व ग्लॉबरचे सॉल्ट (सोडिअम सल्फेट) यातील फरक समजून आला पण चुना आणि व्हाइट मॅग्नेशिया (मॅग्नेशिअम ऑक्साइड) यातील फरक दीर्घकाळ अस्पष्टच राहिला. जे. ब्लॅक याने त्यांच्या संयुगांच्या व सल्फेटांच्या पाण्यातील वेगवेगळया विद्राव्यता प्रथमतःच निश्चित केल्या. सी. न्यूमननुसार, मॅग्नेशिअम ऑक्साइड म्हणजे व्हाईट मॅग्नेशिया व त्याउलट पायरोल्युटाइट हे "ब्लॅक मॅग्नेशिया" समजले जात असे.

धातुस्वरूपात मॅग्नेशिअम (जरी ते फारसे शुद्ध नव्हते व फारच थोडचा प्रमाणात मिळविले गेले) १८०८ मध्ये पहिल्यांदाच एच. डेव्हीने मिळविले व त्यासाठी त्याने पूर्वीचीच म्हणजे पोटॅशिअम व सोडिअम अलग करण्याचीच पद्धत वापरली. १८३१ मध्ये हा धातु शुद्ध स्वपारूत व मोठ्या प्रमाणात ए. बझी या फ्रेंच रसायनज्ञाने तयार केला. या मूलद्रव्याचे मॅग्नेशिअम हे नाव मॅग्नेशियावरून तयार केले गेले.

कॅल्शिअम

चुनखडक, जिप्सम्, अॅल्बस्टर आणि इतर कितीतरी कॅल्शिअम-खनिजे – विशेषतः कार्बोनेट व सल्फेटवर्गीय – फार फार दीर्घकाल परिचयाची आहेत. चुनखडकापासून, ते भाजून चुना कसा तयार करावा हे फार पूर्वीपासून ठाऊक होते व थोरल्या प्लिनीच्या लिखाणात तसा उल्लेख पण आहे. भाजण्यामुळे काय फेरफार होतात याची मात्र काहीच कल्पना नव्हती. केवळ १७५५ मध्ये जे. ब्लॅकने दाखवून दिले की भाजण्याच्या (निस्तापनाच्या) क्रियेत वजन (वस्तुमान) घटते कारण त्या चुनखडकात जो कार्बन डायॉक्साइड (स्थिर हवा) असतो तो वेगळा होतो.

अॅल्बॅस्टर या नावाने प्राचीन काळी दोन खनिजे ओळखली जात. त्यापैकी एकाचे नाव (कॅल्शिअम सल्फेटचा एक प्रकार) आजतागायतही टिकून राहिले. पण इजिप्तमध्ये पूर्वी अॅल्बॅस्टर या नावाने कॅल्साइटचे (कॅल्शिअम कार्बोनेटचे) प्रकार ओळखले जात.

बांधकामाचे साहित्य म्हणून जिप्समचा वापर प्राचीन काळापासून चालू आहे. थिओफ्रॅस्टॉसने जिप्सम हे नाव दोन प्रकारासाठी वापरले — खुद्द जिप्समसाठी व त्याच्या अंशतः निर्जलीकरण केलेल्या प्रतीसाठी. पिरॅमीडच्या बांधकामात, देवळांच्या उभारणीत व मोठमोठ्या प्रासादांमध्ये जिप्समयुक्त द्रावणे वापरल्याचे पहावयास मिळते. १७४६ मध्ये आय. पॉट या जर्मन शास्त्रज्ञाने निर्भेळ कॅल्शिअम ऑक्साइड बाबत विवरण केल्याचे दिसते, पण विविध प्रकारचे क्षपणक वापरून त्यापासून धातु मिळविण्याचे प्रयत्न मात्र फसले.

ही समस्या हाताळण्याचा अचूक मार्ग एच्. डेव्हीने सुचविला. धातु मिळविण्यासाठी प्रथमतः त्याने रॉकेलच्या थराच्या सहाय्याने हवेपासून संरक्षित केलेल्या आर्द्र मृत्तिकेतून विद्युत्प्रवाह नेला. (अशाच प्रकारे त्याने स्ट्रॉंशिअम व बेरिअम तयार करण्याचे प्रयत्न केले) आपल्या प्रयोगांच्या आधारे, अल्कधर्मी मृत्तिकांपासून शुद्ध धातु तयार करण्यासाठी पुढील पद्धत विकसित केली. त्याने आर्द्र मृत्तिका १/३ मर्क्युरी ऑक्साइडबरोबर (वस्तुमानानुसार) मिसळली व ते मिश्रण एका प्लॅटिनमच्या पात्रात ठेवून पात्र उच्च व्होल्टतेच्या विजेरी संचाच्या (बॅटरीच्या) धन अग्रास जोडले. नंतर त्याने मिश्रणाच्या मध्यभागी पाऱ्याचा थेंब ठेवला. त्यात ठेवलेला प्लॅटिनमचा इलेक्ट्रोड विजेरी संचाच्या ऋण अग्रास जोडला. अशा प्रकारच्या रचनेतून जे पारदमिश्र मिळाले त्यातील पारा व रूपेरी पांढरा ऊर्फ कॅल्शिअम अलग करण्यात आले. डेव्हीने १८०८ मध्ये शुद्ध कॅल्शिअम धातु तयार केला. त्याच वर्षी जे. बर्झेलिअस व एम. पॉंटिन यांनी अगदी स्वतंत्रपणे पण डेव्हीसदृश पद्धत वापरून कॅल्शिअम मिळविले. लॅटिन शब्द कॅल्क्स म्हणजे "चुना" यावरून कॅल्शिअम हे नाव तयार झाले.

प्रकरण ६ वे

वर्णपटविज्ञानामार्गे शोधलेली मूलद्रव्ये

रासायनिक मूलद्रव्यांच्या यादीत भर न घालता १९ व्या शतकातील एकही दशक उलटले नाही. काही वेळा तर या यादीत लक्षणीय भर पडल्याचे दिसते. याला अपवाद एकच, तो म्हणजे पाचवे दशक. या काळात एकाही नव्या मूलद्रव्याचा शोध लागला नाही. पण हे चमत्कारिक वाटण्याचे काहीच कारण नाही. विश्लेषणात्मक रसायनशास्त्राने आपल्या आवाक्यात असणारे सारे काही साध्य केले होते. या शतकाच्या पन्नाशीपर्यंत, ज्या मूलद्रव्यांच्या शोधासाठी सूक्ष्म तंत्रज्ञानाची जरूरी नव्हती अशी सर्व मूलद्रव्ये रासायनिक विश्लेषणमार्गे या शतकाच्या मध्यापर्यंत शोधण्यात आलीच होती. शोधण्यात आलेली मूलद्रव्ये एकतर प्राकृतिक, नैसर्गिक स्वरूपात विपुलतेने आढळली अथवा जी दुर्मिळ होती त्यांची खनिजे तरी शास्त्रज्ञांना जणू बलवत्तर नशिबामुळे सापडली. अशा या नाही त्या कारणामुळे १९ व्या शतकाच्या मध्यापर्यंत सुमारे साठ मूलद्रव्यांची माहिती झाली.

नवीन मूलद्रव्यांच्या शोधात पडलेला तात्पुरता खंड, आर. बुन्सेन व जी. किर्चॉफ या जर्मन शास्त्रज्ञांनी १८५९-६० च्या दरम्यान जी वर्णपटीय पद्धत विकसित केली त्यामुळे संपुष्टात आला. मग मात्र एकाएकी नवनवीन मूलद्रव्यांच्या शोधांचे इतिवृत्त हाती येऊ लागले. त्यांनी आपले अस्तित्व वर्णपटीय रेषांद्वारे स्वतःहून प्रकट केले हे त्यांचे वैशिष्टच होय. सिशीअम, रूबिडिअम, थॅलिअम आणि इंडिअम ही चार नवीन रासायनिक मूलद्रव्ये वर्णपटीय पद्धतीमार्गे उजेडात आली.

सिशीअम

वर्णपटविज्ञानमार्गे ज्या मूलद्रव्यांचे पृथ्वीवरील अस्तित्व उघडकीस येणार होते त्यापैकी सर्वात पहिले ठरण्याचा मान या दुर्मिळ, अल्कधर्मी मृत्तिकाधातूच्या भाग्यात होता. पूर्वी १८४६ मध्ये, ए. ब्रेथॉप्ट हा खनिजतज्ज्ञ



आर. बुनसेन

एल्बाबेटावरील खनिजे व खाणमातींचा अभ्यास करीत असता त्यातील क्वार्टझाइटचा एक रंगीत प्रकार त्याच्या ध्यानी आला. ब्रेथॉप्टने या प्रकारास पोलक्स (अथवा पॉलिसाइट) असे नाव दिले. त्याचा नमुना, फ्रीबर्ग (जर्मनी) येथील मायनिंग ॲकॅडेमीतील धातुशास्त्राचे प्राध्यापक व रसायनज्ञ के. प्लॅटनर याच्या हाती पडला. फक्त एका विश्लेषणाच्या कामी पुरेल एवढाच त्यांना हा नमुना मिळाला होता, प्रयोगान्ती साऱ्या घटकांची एकूण बेरीज ९२.७५% भरते हे पाहिल्यानंतर प्लॅटनर काहीसे आश्चर्यचकितच झाले. हे असे का व्हावे याचा शोध घेणे त्यांच्या हातात नव्हते कारण त्यांच्याजवळ आता पोलक्सचा नमुनाच मुळी शिल्लक नव्हता. तरीसुद्धा-त्यांनी असा निष्कर्ष काढला की इतर सिलिकेट संयुगांच्या तुलनेने अल्कद्रव्याचे प्रमाण सर्वात जास्त आहे. आता उघड झाले आहे की पोटॅशिअम व सोडिअमच्या भरपूर प्रमाणामुळे सिशीअम सहजगत्या त्यांच्यामार्गे "झाकले" जाते. त्यामुळेच प्लॅटनर ते अलग करू शकले नाहीत.

१८६० मध्ये आर. बुनसेन व जी. किर्चॉफ यांनी विविध खनिज-झऱ्यातील पाण्यांचे नमुने, त्यातील घटकद्रव्यांसाठी वर्णपटविज्ञान पद्धतीमार्गे तपासून पाहिले. त्यापैकी उरखेम येथील खनिज-झऱ्यातील कॉल्शिअम,

स्ट्रॉँशिअम, मॅग्नेशिअम व लिथिअम वेगळे केल्यानंतर उर्वरित पाण्याचा एक थेंब बाष्पीभूत करून वर्णपटपद्धतीमार्गे तपासणी केली गेली. तेव्हा या शास्त्रज्ञांना निळया रंगाच्या व एकमेकींच्या अगदी नजिक असणाऱ्या दोन रेषा ठळकपणे दिसल्या. माहीत असणाऱ्या कोणत्याच पदार्थाच्या या रेषा निदर्शक नसल्यामुळे बुनसेन व किर्चॉफ यांची खात्री झाली की कोणतातरी अज्ञात पदार्थच त्यामुळे सूचित होत असून तो अल्कधर्मी धातुगटातील असला पाहिजे. या नव्या मूलद्रव्यास त्यांनी सिशीअम (चिन्ह Cs) असे नाव दिले. प्राचीन काळी नभोमंडळाच्या अगदी वरच्या बाजूस असणाऱ्या निळया रंगाचे वर्णन करण्यासाठी लॅटिन भाषेत सिशीअम हा शब्द वापरत. या मूलद्रव्याच्या सुंदर निळया रंगाच्या वाफेमुळेच सोडिअम, लिथिअम आणि स्ट्रॉँशिअम यांच्या मिश्रणात अगदी मिलिग्रॅमच्या काही दशलक्षांश भागाएवढे असणारे त्याचे अस्तित्व जाणून घेण्यास मदत झाली.

११ एप्रिल १८६० रोजी बुनसेनने जी. रोस्की (प्रकाशीय रसायनशास्त्राच्या अभ्यासातील बुनसेनचा सहकारी) यास आपल्या नवीन अल्कधर्मी धातूच्या शोधाबाबत कळविले. १० मे रोजी त्याने बर्लिन ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला या शोधाचे वृत्त कळविले. सहा महिन्यात बुनसेनजवळ जवळजवळ शुद्ध असे ५० ग्रॅम सिशीअम क्लोरोप्लॅटिनेट जमले. तेवढ्यासाठी त्यास सुमारे ३०० टन खनिज-जलावर प्रक्रिया करावी लागली. दुय्यम उत्पादन म्हणून या प्रक्रियेत त्यास सुमारे एक कि. ग्रॅ. लिथिअम क्लोराइडही उपलब्ध झाले. खनिज जलात सिशीअमचे प्रमाण किती क्षुल्लक होते ते या आकड्यांवरून सहजच ध्यानात येईल.

चार वर्षांनंतर इटालियन विश्लेषक एफ्. पिझानी याने, प्लॅथ्नरने शोधलेल्या पोलक्स या खनिजाचा अभ्यास सुरू केला. पिझानीचे सुदैव असे की त्यास या खनिजामध्ये सिशीअमचा शोध लागला. जर्मन शास्त्रज्ञाने सोडिअम व पोटॅशिअम सल्फेटच्या मिश्रणासच सिशीअम सल्फेट कसे चुकीने मानले हे निदर्शनास आणले. सिशीअमची शुद्ध प्रत केवळ १८८२ मध्येच तयार केली गेली व ती करणाऱ्या के. सॅटरबर्ग या जर्मन शास्त्रज्ञाने $CsCN$ व $Ba(CN)_2$ या सायनाइड संयुगांच्या मिश्रणाचे विद्युत-अपघटन केले. रशियामध्ये बेकोतॉव याने अगदी याच सुमारास व अगदी स्वतंत्रपणे हायड्रोजनच्या झोतात मॅग्नेशिअमच्या सहाय्याने सिशीअम ॲल्युमिनेट ($CsAlO_2$) या संयुगावर क्षपणक्रिया करून सिशीअम तयार केले:

रूबिडिअम

रूबिडिअम या दुसऱ्या वर्णपटीय (किंवा स्पेक्ट्रमी) मूलद्रव्याचा शोध लेपिडोलाइट (किंवा खनिजाच्या फिकट गुलाबी – लिलिॲक – रंगावरून लिलॅलाइट या नावानेही ओळखल्या जाणाऱ्या) या दुर्मिळ खनिजाच्या अभ्यासातून लागला. १८ व्या शतकाच्या अखेरीस एम. क्लॅप्रॉथने प्रथमच लेपिडोलाइटचे अगदी सखोल विश्लेषण केले. पण त्या अनुभवी विश्लेषकास खनिजात अल्कधर्मी संयुगांचा काही शोध लागला नाही. स्वतःच्याच निष्कर्षांबद्दल संशय आल्यामुळे क्लॅपरॉथने पुनर्विश्लेषण केले आणि यावेळी (१७९७) त्यास पुढीलप्रमाणे घटकद्रव्ये आढळली : ५४.५% सिलिकॉन डायॉक्साइड; ३८.२५% ॲल्युमिनिअम ऑक्साइड; ४% पोटॅशिअम ऑक्साइड व ०.७५% मँगॅनीज ऑक्साइड. ज्या २.५ टक्क्यांचा पत्ता लागत नव्हता तो भाग म्हणजे खनिजात असणाऱ्या पण नाहीसा झालेल्या पाण्याचा होय असे क्लॅप्रॉथने कारण दिले. तथापि, त्या शास्त्रज्ञाने कोणतेही कौशल्यपूर्ण तंत्र वापरले असले तरी दोन महत्त्वपूर्ण घटकांचे प्रमाण काही त्यास ठरविता आले नाही. हे दोन घटक म्हणजे लिथिअम (त्यावेळेपावेतो ते शोधले गेलेही नव्हते) व फ्ल्युओराइन हे होत. या कारणाने, लेपिडोलाइटचे स्वरूप संदिग्धच राहिले.

१८६१ च्या सुरुवातीस, सॅक्सनीत सापडणाऱ्या या खनिजाचा नमुना बुनसेन व किर्चॉफ यांच्या हाती पडला. त्यांनी खनिजातील अल्कधर्मी घटक वेगळे केले आणि पोटॅशिअम हे क्लोरोप्लॅटिनेट स्वरूपात साख्याच्या रूपात अलग केले. हा साखा त्यांनी अगदी काळजीपूर्वक धुतला आणि मग वर्णपटीय विश्लेषण करण्यासाठी वापरला. २३ फेब्रुवारी १८६१ रोजी या रसायनज्ञांनी लेपिडोलाईटमध्ये एक नवे अल्कली धातूचे अस्तित्व असल्याबाबत बर्लिन ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेला अहवाल दिला. त्या शास्त्रज्ञांनी नक्की केले की वर्णपटात जी गडदरंगी व तेजस्वी तांबडी रेषा आढळते ती एका नव्या धातूची निदर्शक असून तीमुळे या मूलद्रव्यास "रूबिडिअम" हे नाव देण्यास सबळ कारण उपलब्ध होते. लॅटिन शब्द रूबिडस म्हणजे तांबडा रंग असा अर्थ असून त्यानुसार Rb हे चिन्ह त्यांनी बहाल केले. नंतर बुनसेन व किरचॉफ यांनी, ज्या खनिज-झऱ्यातील पाण्यात त्यांनी एक वर्षापूर्वी सिशीअम शोधले होते, त्यामध्येच रूबिडिअमचाही शोध लावला.

सिशीअमपेक्षा रूबिडिअमचे प्रमाण किंचितसे अधिक आढळले एवढेच. धातुरूप रूबिडिअम बुनसेननेच १८६३ मध्ये तयार केले.

थॅलिअम

वर्णपटविज्ञानमार्गे खनिजातील ज्या मूलद्रव्यांचे अस्तित्व सिद्ध केले गेले त्यापैकी थॅलिअम हे तिसऱ्या क्रमांकाचे मूलद्रव्य होय. त्याचे काही गुणधर्म अल्कधर्मी धातूंशी मिळतेजुळते ठरल्यामुळे असे काही शास्त्रज्ञ निघाले की ज्यांनी थॅलिअम हे स्वतंत्र मूलद्रव्य नसून रूबिडिअम व सिशीअमसदृश अज्ञात व वजनदार अशा अल्कधर्मी धातूंचे मिश्रण आहे असा ग्रह करून घेतला. हा त्यांचा गैरसमज दूर होण्यास अर्थातच काही काळ जावा लागला. इकडे बुनसेन आणि किर्चॉफ यांनी नवी मूलद्रव्ये तपासण्याचे काम चालूच ठेवले. त्यांच्या वर्णपटीय विश्लेषणाच्या पद्धतीने इंग्रज रसायनज्ञ व भौतिकशास्त्रज्ञ डब्ल्यु. क्रुक्स याला आकर्षित केले. यावेळेपावेतो शास्त्रीय जगतात क्रुक्स प्रामुख्याने "केमिकल न्यूज" या मासिकाचा प्रकाशक व संपादक म्हणून माहीत झाला होता. संशोधनमार्गावरून क्रुक्सने मार्गक्रमण चालू केले यात काही बोलबाला होण्यासारखे मुळीच नव्हते. पूर्वी १८५० मध्ये टिल्कीरॉड कारखान्याकडून (जर्मनी) सल्फ्युरिक आम्ल तयार झाल्यानंतर शिशाच्या कुप्यांमध्ये जो गाळ उरतो तो दहाएक पौंड मिळाला होता. या शास्त्रज्ञाने गाळापासून सेलेनिअम वेगळे केले व हे काम त्याने सेलेनोसायनाइड नामक संयुगांच्या अभ्यासार्थ केले. त्याचा प्रकाशित झालेला पहिला निबंध त्यावरच होता. सेलेनिअम अलग केल्यानंतर व ते शुद्ध केल्यानंतर थोडाफार पदार्थ उरला. त्यामध्ये टेल्युरिअम असावे अशी शंका येण्यास सर्वतोपरी पूरक कारणे होती त्यापैकी एक म्हणजे सेलेनिअमच्या रासायनिक गुणधर्माशी अगदी जुळणारे असे टेल्युरिअमचेही गुणधर्म असतात हे होय. तथापि त्यासाठी क्रुक्सने ज्या पद्धतींचा वापर केला त्यामुळे टेल्युरिअम काही त्यास वेगळे करणे जमले नाही. यानंतर संशोधन थांबविले गेले आणि केवळ एका सुदैवी योगायोगामुळेच क्रुक्सने गाळावरील प्रक्रियेनंतर उरलेला भाग न फेकता राखून ठेवला (त्यामध्ये टेल्युरिअम असणे शक्य आहे या विश्वासानेही राखला जाणे शक्य होते).

सिशीअम व रूबिडिअमच्या शोधांमुळे क्रूक्सच्या मनावर चांगलाच प्रभाव

पडला. पण क्रुक्स निव्वळ भारावून जाणारा नव्हता तर व्यवहारी पण होता. त्याच्या ताबडतोब लक्षात आले की विश्लेषणाच्या कामी वर्णपटीय अथवा स्पेक्ट्रमी पद्धत केवढी तरी आशादायी व खात्रीची आहे. त्याने मग एक वर्णपटदर्शक मिळविला आणि लगेच त्याची चाचणी घेण्याचे ठरविले. ज्या सल्फ्युरिक आम्लाच्या गाळाचा नमुना (खरे तर सेलेनिअम अलग केल्यानंतर उरलेला भाग) त्याने दहा वर्षांपेक्षाही अधिक काळ निर्हेतुकपणे जपून (!) ठेवला होता त्याची आता वेळ आली म्हणावयाची. क्रुक्सने थोडा नमुना ज्वालकाच्या ज्योतीत धरला आणि लगेच त्याची निराशाही झाली, टेल्युरिअम सूचित करणारे कोणतेच चिन्ह मिळाले नाही, वर्णपटात त्याची निदर्शक-रेषा आढळली नाही. सेलेनिअमनिदर्शक रेषा मात्र दृग्गोचर झाल्या व हळूहळू नाहीशा होत गेल्या. तरीपण त्याऐवजी तेजस्वी हिरवी रेषा मात्र दिसली, जी क्रुक्सने पूर्वी कधीच पाहिलेली नव्हती. अर्थात नव्या रेषेचा संबंध एखाद्या नव्या मूलद्रव्याशी जोडण्याचा मोह पडणे साहजिकच म्हटले पाहिजे. क्रुक्सने याच कारणामुळे तसेच केले व नव्या मूलद्रव्यास थॅलिअम असे नाव दिले. ग्रीक शब्द थॅलॅस म्हणजे "नवी हिरवी शाखा", व त्याच्याशी हे नामकरण संबंधित असल्याचे उघडच दिसते.

क्रुक्सच्या शोधाचा पहिला लेख "केमिकल न्यूज"मध्ये ३० मार्च १८६१ रोजी प्रसिद्ध झाला. लेखाचे शीर्षक होते, "नव्या मूलद्रव्याच्या अस्तित्वाबाबत, जे बहुधा गंधकाच्या (सल्फरच्या) गटातील संभवते." या ठिकाणी मात्र लेखकाची चूक होती कारण आपणास माहीत आहेच की गंधक किंवा तत्सम पदार्थांशी थॅलिअम कोणत्याच बाबतीत समानधर्मी नाही. तथापि, एक वर्षानंतर क्रुक्सला आपली चूक कळली व त्याने "थॅलिअम, एक नवे रासायनिक मूलद्रव्य" या शीर्षकाखाली दुसरा लेख प्रसिद्ध केला. त्यात मात्र गंधकाबरोबर कुठल्याही प्रकारे साम्य दर्शविलेले नव्हते.

अशा प्रकारे थॅलिअम शोधण्यात आले. "शोधण्यात" या शब्दाचा इथे अर्थ असा की नव्या पद्धतीच्या सहाय्याने थॅलिअमचे अस्तित्व सिद्ध केले. या मूलद्रव्याचा वर्णपट पाहिल्यानंतर क्रुक्सने हे मूलद्रव्य शुद्ध स्वरूपात वेगळे करण्याचा प्रयत्न केला नाही किंवा त्यांची संयुगे तयार केली असेही नाही. ते काम केले फ्रेंच रसायनज्ञ सी. ल मी याने व त्यास स्वतंत्ररित्या थॅलिअमच्या शोध लावल्याचे श्रेय वेळोवेळी दिले जाते.

पहिल्या प्रथमच सी. लामीने सल्फ्युरिक आम्लाच्या उत्पादनात मिळणाऱ्या गाळातील जे सेलेनिअम वेगळे केले गेले त्याच्या नमुन्यात हिरवी थॅलिअमनिदर्शक रेषा पाहिली. (क्रुक्सने याच कच्च्या मालाचा उपयोग केला होता). क्रुक्सच्या निरीक्षणानंतर मार्च १८६२ मध्ये म्हणजे एक वर्षाने ही घटना घडली व त्यानंतर लगेच २३ जून रोजी लामीने धातुरूप थॅलिअमचा नमुना (सुमारे १४ ग्रॅमचा गोळा) पॅरिस अॅकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला सादर केला. धातुरूप थॅलिअम तयार करण्यात क्रुक्सलाही यश मिळाले, पण त्याचा नमुना चूर्णरूपात होता. सी. लामीने जाहीर केले की क्रुक्सचे थॅलिअम दुसरेतिसरे काही नसून धातूचे निव्वळ सल्फाइड संयुग आहे. हा वाद चालूच राहिला. क्रुक्सचे म्हणणे असे की १ मे १८६२ रोजी हा चूर्णरूप धातू त्याने मिळवला असून त्याच्या सहज बाष्पनशीलतेमुळे त्याने तो एक संधी किंवा वितळवून गोळयात रूपांतर केले नाही. यावर निर्णय देण्यासाठी अॅकॅडेमीने ए. सेंट क्लोअर द व्हील, टी. पेलॉझ व जे. ड्युमास या प्रसिद्ध शास्त्रज्ञांची एक समिती नेमली. समितीने सी. लामीचा दावा न्याय्य ठरविला.

सी. लामीने थॅलिअमचा अभ्यास डब्ल्यु. क्रुक्सपेक्षा खूपच बारकाईने केला हे निर्विवाद आहे. त्याने असे दाखवून दिले की या धातूपासून एकसंयुजी व त्रिसंयुजी संयुगे तयार होतात. यापैकी एकसंयुजी थॅलिअम अल्कधर्मी धातूंशी बरेच मिळतेजुळते आहे तर त्रिसंयुजी थॅलिअम अॅल्युमिनिअमसदृश ठरते. "त्रिरोधाभासी धातु" असे जे. ड्युमास थॅलिअमविषयी म्हणतो. सोडिअम व पोटॅशिअम यांच्याशी थॅलिअमचे जे साम्य दिसते, केवळ त्यामुळेच थॅलिअम म्हणजे उच्च अणुवस्तुमानांकाच्या अज्ञात मूलद्रव्यांचे मिश्रण असावे ही कल्पना निर्माण झाली. थॅलिअमच्या शोधाचे संपूर्ण श्रेय डब्ल्यु. क्रुक्सला दिले जाते पण फ्रेंच रसायनज्ञाच्या महत्त्वपूर्ण कार्याकडे मात्र दुर्लक्ष व्हावे ही मोठी खेदजनक बाब आहे.

सुप्रसिद्ध पर्यटक, खनिजतज्ज्ञ आणि ग्रीनलॅंडच्या शोधकांपैकी एक — इ. नॉर्डेनशोल्ड नामक गृहस्थास १८६६ मध्ये रूपे, तांबे, सेलेनिअम व थॅलिअम असणारे एक नवेच खनिज सापडले. डब्ल्यु. क्रुक्सच्या सन्मानार्थ या खनिजास त्याने क्रुकसाइट हे नाव सुचविले. थॅलिअमचा भरपूर अंश असणारे हेच काय ते एकुलते एक खनिज होय, असा दीर्घकाळ समज होता.

इंडिअम

रासायनिक मूलद्रव्यांच्या इतिहासात, एका मूलद्रव्याचा दुसऱ्या मूलद्रव्याच्या शोधावर सरळ सरळ परिणाम झाल्याचे अनेकदा दिसून येईल. थॅलिअमच्या शोधामुळेच इंडिअमच्या शोधास चालना मिळाली हे याचेच उदाहरण म्हणता येईल. वर्णपटीय विश्लेषणपद्धतीने शोधल्या गेलेल्या चार मूलद्रव्यांच्या समुहातील इंडिअम हे शेवटचे मूलद्रव्य होय.

या शोधनाटयाच्या प्रमुख प्रयोगास जर्मनीतील फ्रिबर्ग या गावी सुरुवात झाली. तेथील मायनिंग ॲकॅडेमीतील भौतिकशास्त्राचे प्राध्यापक एफ. रिक व त्यांचा सहकारी टी. रिक्टर यांनी त्यामध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावली आहे. ते वर्ष होते १८६३. दोन वर्षांपूर्वीच शोधण्यात आलेल्या थॅलिअमच्या काही गुणधर्मांबाबत या सशोधकांना काहीसे कुतूहल वाटल्यामुळे पुरेसे थॅलिअम मिळविण्याचे त्यांनी ठरविले. थॅलिअमच्या नैसर्गिक खनिजांच्या शोधात असतानाच ह्मिसफुर्स्ट येथील खाणीतील मातीच्या नमुन्याचे त्यांनी विश्लेषण केले. त्या खाणमातीत जस्ताखेरीज सल्फर (गंधक), शिसे, आर्सेनिक, सिलिकॉन, मँगॅनीज, कथील, कॅडमिअम... थोडक्यात, अनेक रासायनिक मूलद्रव्ये होती. त्यामध्ये थॅलिअमचाही अंतर्भाव होऊ शकेल असे रिकना वाटले. पण भरपूर वेळ खाणारे अनेक प्रयोग करूनही त्यांना हवे ते मूलद्रव्य काही मिळाले नाही. पण त्याचबरोबर फिकट पिवळया रंगाचा आणि घटकद्रव्ये माहीत नसलेला असा एक साखा मात्र त्यांना मिळाला. असे सांगतात की सी. विंक्लर (जर्मानिअमचा संशोधक म्हणून पुढे प्रसिद्धीस येणारा) जेव्हा त्यांच्या प्रयोगशाळेत गेला तेव्हा रिकने हा साखा असलेली एक परीक्षानळी दाखवून सांगितले की या साक्यात एका नवीन मूलद्रव्याचे सल्फाइडसंयुग आहे.

आपला अंदाज पडताळून पाहण्यासाठी रिकने वर्णपटविज्ञानाचा वापर केला नसता तर एक नवलच ठरले असते. पण स्वतः रिकने ही पद्धत वापरली नाही, कारण तो रंगांधळा होता. म्हणून त्याने आपल्या रिक्टर या सहकाऱ्याकडे हे वर्णपटीय विश्लेषणाचे काम सोपविले.

रिक्टरला अगदी पहिल्याच प्रयत्नात यश लाभले. या नमुन्याच्या वर्णपटात त्यास एक अत्यंत तेजस्वी अशी निळी रेषा पहावयास मिळाली. सिशीअमच्या निळया रेषेशी किंवा इतर कोणत्याही मूलद्रव्यांच्या रेषांशी या

रेषेचा गोंधळ होण्याचे कारणच नव्हते. थोडक्यात, रिक्टरचे निरीक्षण अगदी अचूक होते. दोन्ही शास्त्रज्ञांनी एकच निष्कर्ष काढला की हिमेलस्फूर्टच्या खाणमातीत एका नवीन मूलद्रव्याचे अस्तित्व आहे. अगदी उजळ अशा निळया रंगाच्या रंजकद्रव्यानुसार (इंडिगोवरून) त्यांनी "इंडिअम" असे त्याचे नामकरण केले. एक खास सांगण्यासारखी हकिकत अशी की या संशोधनाच्या पहिल्या वृत्तांतावर रिक व रिक्टर अशा दोघांच्याही सह्या होत्या पण रिकना मात्र प्रामाणिकपणे असेच वाटत होते की ते बरोबर नसून इंडिअमच्या शोधाचा मान फक्त रिक्टरलाच मिळणे योग्य आहे. रिकच्या स्वभावाचा हा पैलू फारच वैशिष्टयपूर्ण ठरावा.

दोन्ही शास्त्रज्ञांनी अशाप्रकारे वर्णपटीय पद्धतीने इंडिअमचे अस्तित्व सिद्ध केल्यानंतर थोडक्याच अवधीत ते अल्पशा प्रमाणात मिळवले गेले. इंडिअमच्या संयुगांमुळे बुनसेन ज्वालकाच्या ज्योतीस निळाजांभळा रंग प्राप्त होतो. तो एवढा झगझगीत तेजस्वी असतो की तेवढयावरूनच इंडिअमचे अस्तित्व सिद्ध करणे शक्य व्हावे. पुढे रिक व रिक्टर यांनी इंडिअमच्या काही गुणधर्मांचा अभ्यास केला व त्या कामी विंक्लरने त्यांना बहुमोल सहाय्य केले.

इंडिअम धातुरूपात तयार केल्यानंतर (त्यामध्ये अशुद्ध द्रव्ये आली होतीच) त्याचे नमुने रिक्टरने १८६७ मध्ये पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला पाठविले. त्यांची किंमत अंदाजे ८०० स्टर्लिंग पौंड होती. त्यावेळच्या मानाने हे मूल्य चांगलेच मोठे ठरते.

या मूलद्रव्याच्या शोधानंतर लगेच त्याचे रासायनिक गुणधर्म तपासण्यात आले. सुरुवातीस इंडिअमचा अणुवस्तुमानांक चुकीचा ठरविण्यात आला (७५.६). त्यामुळे आवर्ती कोष्टकात इंडिअमला योग्य स्थान मिळणार नाही असे लक्षात येऊन मेंदेलेयेवने त्यामध्ये ५० टक्के वाढ सुचविली. हा त्याचा अंदाज अगदी अचूक ठरला. अखेर आवर्ती कोष्टकातील तिसऱ्या गटात इंडिअमने आपले योग्य स्थान मिळवले.

प्रकरण ७ वे

मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्ये

"तो एक चुकांचा समुद्रच म्हटला पाहिजे आणि सत्य त्यात बुडत होते." सुप्रसिद्ध फ्रेंच रसायनज्ञ उर्बेन याने एकदा मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या इतिहासाबद्दल बोलताना वरीलप्रमाणे उद्‌गार काढले. एखादी गोष्ट अतिशयोक्तीपूर्ण सांगणे हा उर्बेनचा स्वभाव प्रसिद्ध होताच म्हणा पण याबाबतीत त्याचे उद्‌गार अतिशयोक्तीपूर्ण मुळीच म्हणता येणार नाहीत. तीसएक वर्षाच्या कालावधीत (१८७८ पासून १९१० पर्यंत) मृद्वर्गातील १०० च्या वर नव्या मूलद्रव्याचे शोध जाहीर झाले खरे पण त्यापैकी फक्त दहाच मूलद्रव्ये खरी ठरली! गोंधळयुक्त आणि मोठ्या गुंता-गुंतीचा असा या मूलद्रव्यांच्या संशोधनाचा इतिहास संगतवार सांगणे सोपे नाही.

लँथॅनम ($Z = 57$) आणि त्यांनंतरची चौदा लँथानाइडे म्हणजेच सेरिअम ($Z = 58$) ते ल्युटेनिअम ($Z = 71$) यांची गणना मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्ये अशी केली जाते आणखी दोन मूलद्रव्यांचाही समावेश या यादीत करता येईल, ती म्हणजे वायट्रिअम ($Z = 39$) व स्कँडिअम ($Z = 21$). त्यांचे गुणधर्म लँथॅनमसदृशच असून ऐतिहासिकदृष्ट्याही ती मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांशी जोडली गेलेली आहेत. खरे तर इट्रिअमच्याच शोधापासून मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या इतिहासास सुरुवात होते. स्कँडिअमचा येथे धावता परिचय येत असून प्रकरण ९ मध्ये त्याबाबत बारकाव्याने विचार करण्यात आला आहे.

एकंदरीत, सर्व नैसर्गिक मूलद्रव्यांपैकी $\frac{१}{९}$ भाग या मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांनी (मृ. दु. मू.) व्यापलेला असून त्यांचे शोध ११३ वर्षांच्या – १७९४ (वायट्रिअमच्या शोधापासून) ते १९०७ (ल्युटेशिअमच्या शोधापर्यंत) एवढ्या कालावधीत विखुरलेले आहेत. मृ. दु. मू. पैकी एक प्रोमेथिअम हे संश्लेषितरित्या तयार केले गेले, पण वरील कालखंडाच्या कितीतरी

नंतर. मृ. दु. मू. च्या इतिहासास चमत्कृतीचा जो पदर आहे तो त्यांच्या विलक्षण गुणधर्मांमुळे पण त्याही पलिकडे त्यांच्या एकमेकांच्या गुणधर्मात ठळकपणे दिसणारे साधर्म्य यामुळे खनिजांमध्ये व खाणमातीत ती सर्व एकत्रितच पहावयास मिळतात आणि हे मिश्रण निरनिराळ्या वैयक्तिक घटकांमध्ये अलग करणे ही तर अत्यंत कठीण गोष्ट ठरते. यामुळेच मृ. दु. मू. चा इतिहास खोटया शोधांनी अगदी रेलचेल भरलेला असून एखाद्या नव्या मूलद्रव्याचा शोध लागताच ते मूलद्रव्य म्हणजे आधीच माहीत झालेल्या काही मूलद्रव्यांचे निव्वळ एकत्रित स्वरूप आहे असे उघड होत असे. अगदी खराखुरा शोध शुद्ध अशा मृ. दु. मू.शी संबंधित असल्याचे नेहमीच निष्पन्न होत नसे, तर कित्येक बाबतीत खूप नंतरचा सिद्ध होई की "नवा शोध" म्हणून समजले गेलेले मूलद्रव्य दोन किंवा अधिक अज्ञात मूलद्रव्यांचे मिश्रण आहे. म्हणूनच काही मृ. दु. मू. च्या काही मोठ्या प्रमाणात स्वीकारल्या गेलेल्या शोध-तारखांबाबत आपण सावधगिरी बाळगली पाहिजे.

मृ. दु. मू. च्या इतिहासाचे आणखी एक महत्त्वाचे वैशिष्टय हे की ती सारी ऑक्साइडांच्या स्वरूपात वेगळी (निष्कर्षित) केली गेलेली आहेत. पूर्वीच्या काळातील रसायनज्ञ ऑक्साइडांसाठी "अर्थ" (माती, मृत्तिका) हा शब्द वापरत: उदाहरणार्थ, मॅग्नेशिअम, कॅल्शिअम ("अल्कलाइन अर्थ्स" म्हणजे अल्कधर्मी मृत्तिका) आणि नंतर हा शब्द त्यांनी (पुढे ध्यानात आल्याप्रमाणे अर्थातच चुकीने) पहिल्या दोन मृ. दु. मू. च्या ऑक्साइडांसाठी वापरला. यावरून "रेअर अर्थ्स" म्हणजेच मृद्वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्ये अशी संज्ञा रूढ झाली. संबंधित मूलद्रव्यांच्या शोधानंतर शुद्ध धातु कितीतरी नंतर तयार केले गेले. उदाहरणार्थ शुद्ध धातु म्हणून वजनदार लँथॅनाइडांची मालिका केवळ दुसऱ्या महायुद्धानंतरच तयार केली गेली.

मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांचा पूर्वेतिहास

१७९४ मध्ये फिनलंडचा रसायनज्ञ व आबो विद्यापीठातीलही रसायनज्ञ जोहान गॅडोलिन याने इटारपाइट या खनिजापासून एका अज्ञात मूलद्रव्याचे ऑक्साइड वेगळे केले व त्यास वायट्रिअम असे नाव दिले. स्वीडनमधल्या दुडर्बी या खेड्यानजिकच्या एका जुन्या खाणीत हे खनिज सात वर्षांपूर्वीच सापडले होते. खेड्यामुळे खनिजास तेच नाव मिळाले (पुढे त्याचे पुनश्च

नामकरण होऊन गॅडोलिनच्या सन्मानार्थ गॅडोलिनाइट हे नाव मिळाले) नंतर त्या खेड्याने वायट्रिअम आणि एर्बिअम, टर्बिअम व वायटर्बिअम या आणखी तीन मृ. दु. मूं. ना नावे बहाल केली.

वायटर्बाइट या खनिजाचे नमुने इतर समकालीन रसायनज्ञांनीही, उदा. एल. व्हॅक्वेलिन (फ्रान्स) आणि एम. क्लॅप्रॉथ (जर्मनी), अभ्यासिले. त्यांनासुद्धा एक नवे ऑक्साइड (मृत्तिका) सापडले खरे पण त्याचा अंश किती याचे आकडे दोघांच्या बाबतीत भिन्नभिन्न होते. ज्याअर्थी दोघांच्याही विश्लेषण-पद्धती सारख्याच होत्या त्याअर्थी भिन्नतेचे कारण असे सांगता येईल की खनिजात आणखी एक अज्ञात मूलद्रव्य असले पाहिजे व ते वायट्रिअमपासून वेगळे करणे अवघड होते.

आणि तो खरोखरीच तसाच प्रकार होता, पण "परका" मात्र सापडला दुसऱ्याच एका खनिजात. ही घटना घडली १८०३ मध्ये. एकीकडे जे. बर्झेलियस व डब्ल्यु. हिसिंजर यांनी तर दुसरीकडे एम. क्लॅप्रॉथ याने, अगदी स्वतंत्रपणे एका नव्या मूलद्रव्याचे ऑक्साइड वेगळे केले व नव्यानेच शोधल्या गेलेल्या त्याला "सीरस" या लघुग्रहानिमित्त "सेरिअम" हे नाव बहाल केले. खनिजास "सेराइट" असे नाव दिले. कित्येक वर्षांपावेतो गॅडोलिनाइट व सेराइट ही दोनच खनिजे मृ. दु. मूं. साठी उपलब्ध होती.

सेरिअम हे वायट्रिअमशी फार मिळतेजुळते होते हे खरेच, पण त्या दोघात काही फरकही जरूर होते. आता माहीत झाल्याप्रमाणे ज्यास "सेरिअम" समजत ते वस्तुतः काही मृ. दु. मू चे (Ce ते Gd मूलद्रव्यांचे) जटिल असे मिश्रण होते, तसेच वायट्रिअम म्हणून ओळखले गेलेले मूलद्रव्य हे खरे तर काही मृ. दु. मू. चे (Tb ते Lu) मिश्रण होते. म्हणजेच १७९४ ते १८०३ या काळात खरेखुरे वायट्रिअम व सेरिअम शोधले गेले नव्हते. सी. मोसँडर या बर्झेलिअसच्या शिष्याला मात्र दाट संशय होता की सेराइटपासून मिळविण्यात आलेल्या सेरिअममध्ये काहीतरी अशुद्ध द्रव्य आहे. या अंदाजाचे निश्चित खात्रीत रूपांतर होण्यास या शास्त्रज्ञाने तेरा वर्षे घेतली.

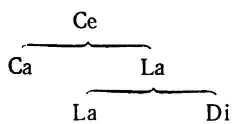
लँथानम आणि डिडिमिअम, टर्बिअम आणि एर्बिअम

दुर्मिळ मृदवर्गीयांचा सी. मोसँडरमार्फत काटेकोरपणे अभ्यासास सुरूवात होईपर्यंत वायट्रिअम व सेरिअम यांच्याकडे फारच अल्पसे लक्ष दिले गेले.

नंतर मात्र त्याना रासायनिक मूलद्रव्ये म्हणून दर्जा मिळाला आणि त्यांचे गुणधर्म चांगल्या रीतीने ठाऊक झाले.

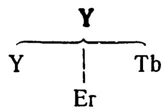
नव्याने शोधल्या जाणाऱ्या मूलद्रव्यांच्या सन्मानार्थ रोपटे लावण्याची जर प्रथा असती तर या कल्पनारम्य बागेत वायट्रिअम आणि सेरिअमची कोवळी रोपटी ही कल्पना आणखी फुलविण्याचे ठरविल्यास, १८३९ नंतर सत्तर वर्षांमध्ये ह्या कोवळया रोपट्यांना मोठ्या जोमाने अनेक फांद्या फुटल्याची कल्पना करावी लागेल.

मोसँडरने सेरिअमचा अगदी सखोल अभ्यास करून असे सिद्ध केले की त्यामध्ये आणखी दोन नवी मूलद्रव्ये आहेत—लँथॅनम (La) व डिडिमिअम (Di) (ग्रीक भाषेत "खोटेपणाने लपणे" अशा अर्थी शब्द असून त्यावरूनच "लँथॅनम" हा शब्द तयार झालेला आहे). खरोखरीच लँथॅनम संशोधकांच्या तीक्ष्ण नजरेतून दीर्घकाल निसटत होते. "डिडिमिअम" चा अर्थ ग्रीक भाषेत "जुळे" असा होतो आणि पाण्याचे दोन थेंब जसे अगदी एकसारखे दिसतात तद्वतच डिडिमिअमचे लॅथॅनमशी साम्य आहे. यामुळे लँथॅनम आणि डिडिमिअम ही दोन वेगवेगळी मूलद्रव्ये आहेत. मोसँडरचे कौशल्य अगदी पणाला लागले. सेरिअम वृक्षाच्या फांद्यांचे स्वरूप पुढीलप्रमाणे दाखविता येईल :



पुढे अनेक संशोधकांनी सेरिअम व लँथॅनमच्या "वैयक्तिक" स्वरूपावर आक्रमण करण्याचे प्रयत्न केले, म्हणजेच त्यांना ही दोन सर्वस्वी नवीन, स्वतंत्र मूलद्रव्ये असल्याचे मान्य होईना. ती जटिल स्वरूपाची मिश्रणेच आहेत असे सिद्ध करण्याचा त्यांचा मानस होता. तथापि मोसँडरने या मूलद्रव्यांची चांगल्यापैकी शुद्ध प्रतीची ऑक्साइडे मिळविली होतीच. डिडिमिअमच्या बाबतीत मात्र त्याच्या नशिबात वेगळाच प्रकार आढळतो. आधुनिक आवर्ती कोष्टकात तुम्हाला त्याचे चिन्ह सापडणार नाही! ती एक दीर्घकथा असून नंतर सांगितली जाईल. येथे आपण एवढीच नोंद घेऊ या की सेरिअमच्या चरित्रकहाणीस खरीखुरी सुरुवात १८३९ या वर्षापासून होते. इट्रिअमच्या बाबतीतही अगदी हेच खरे आहे. सेरिअमच्या अपघटनात जे यश मिळाले

ते मोसँडरला स्फूर्तीप्रद ठरले व १८४३ मध्ये त्याने वायट्रिअमच्या अभ्यासास सुरुवात केली. आणि मग गॅडोलिनच्या पूर्वशोधित जुन्या इट्रिअमने आपले खरेखुरे रूप दाखविले. काटेकोरपणे पाहता तीन रूपे किंवा चेहरे पहावयास मिळतात : खुद्द इट्रिअम म्हणून एक आणि त्याच्याशी अत्यंत मिळत्याजुळत्या अशा दोन मूलद्रव्यांच्या रूपाने – टर्बिअम व एर्बिअमच्या रूपाने. ही परिस्थिती पुढीलप्रमाणे दाखविता येईल –



इट्रिअमच्या वैयक्तिकपणाची (म्हणजे स्वतंत्र मूलद्रव्य म्हणून) नंतर खात्री झाली. मोसँडरने टर्बिअम शुद्ध स्वरूपात मिळविले की नाही हे अज्ञातच आहे. टर्बिअमचे नशीबही डिडिमिअमप्रमाणेच ठरले. अधिकृत शोध-तारखांबाबत या यादीत आणखी एक दुरुस्ती करणे जरूरी आहे, ती अशी की खरेखुरे इट्रिअम मोसँडरने शोधले ते १८४३ साली. म्हणूनच मृ. दु. मू. च्या पाळण्याशेजारी उभा असलेला जर कुणी दिसत असेल तर तो मोसँडरच !

मोसँडरच्या कामानंतर मृ. दु. मू. ची यादी अगदी ४० वर्षांपावेतो जशीच्या तशीच राहिली. ही मूलद्रव्ये शोधण्याच्या कामात शास्त्रज्ञांनी खंडोगणती चुका केल्या, त्यांच्या ऑक्साइडांची चुकीची सूत्रे सांगितली आणि त्यांचे अणुवस्तुमानांक चुकीचे ठरविले. याबाबतीत मेंदेलेयेवची निःसंशयपणे खात्री झाली की "काहीतरी चुकत आहे" आणि त्याने १८६९ पर्यंत शोधलेल्या मृ. दु. मू. च्या या मूल्यात बदल सुचविला. आवर्ती नियमावरील जे साहित्य उपलब्ध आहे ते पाहता मेंदेलेयेव या बाबतीत पूर्णतया बरोबरच ठरतो असेच आढळते. तथापि त्यामुळे मृ. दु. मू. च्या पुढील भवितव्यात काही व्यावहारिक बदल घडले असे मुळीच नाही. त्यांच्या गुणधर्मात एवढी समानता होती की ती वेगवेगळी करणे हे काम विश्वसनीयरित्या हाताळणे शक्यच नव्हते. अशा परिस्थितीत एकंदर वातावरण विरोधाभासी झाल्यास त्यात नवल कोणते ? चारदोन मूलद्रव्यांचे मिश्रण एकुलते एक मूलद्रव्य म्हणून समजावे तर त्याच्या उलटही, म्हणजे नव्याने शोधलेली मूलद्रव्ये प्रत्यक्षात काही मूलद्रव्यांची मिश्रणे ठरावीत !

ज्या वर्णपटीय विश्लेषणाने नव्या मूलद्रव्यांच्या शोधाच्या बाबतीत एवढी अमूल्य कामगिरी बजावली त्याचेही निष्कर्ष कित्येकदा विश्वसनीय न ठरता चुकीचे ठरत असत.

"इटर्बिअम", स्कँडिअम, "होल्मिअम", थुलिअम

मोसँडरच्या कार्यानंतर जवळजवळ चाळीस वर्षे उलटली पण एवढ्या अवधीत मृ. दु. मू. च्या शाखांमध्ये एकाही नव्या फांदीची भर पडली नाही. त्यास अनेक कारणे होती. एक तर मृ. दु. मू. चे लहरी, फसवे रसायन-शास्त्र हाताळणे जमत नव्हते. तसेच ती अलग करण्याचे काम, त्यांच्या क्षारांची विद्राव्यता वेगवेगळी आहे या वस्तुस्थितीवर – जरी ती फारच थोड्याशा प्रमाणात वेगवेगळी असली – अवलंबून होते. यामुळे एका मृ. दु. मू. पासून दुसरे अलग करण्यासाठी, व तेही कमीअधिक विश्वसनीयपणे, शेकड्याने स्फटिकीभवनाच्या क्रिया पुन:पुन्हा कराव्या लागत.

ज्ञात अशी मृ. दु. मू. ची खनिजे अगदीच मोजकी होती, सेराइट व गॅडोलिनाइट अतिशय दुर्मिळ होती आणि दहाएक खनिजे म्हणजे वस्तुसं-ग्रहालयमध्येच ठेवण्याच्या लायकीची होती. तरीसुद्धा नव्या शोधांचा काल अवतरलाच आणि पहिल्या डहाळया फुटल्या त्या वायट्रिअम वृक्षास. मोसँ-डरचे एर्बिअम दीर्घकाळापर्यंत एक वादविषय ठरला आणि मग पुढे केवळ १८७८ मध्ये जे. द. मेरिग्नॅक या स्विस शास्त्रज्ञाने एर्बिअमपासून एक नवे मूलद्रव्य अलग केले. त्याचे नाव, वायटर्बी खेड्यासंबंधात "इटर्बिअम" असे त्याने ठेवले.

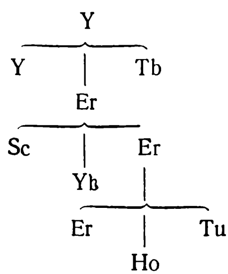
या पुस्तकात आणि या भागाच्या शीर्षकातही "इटर्बिअम" हे अवतरण चिन्हात टाकलेले आपणास आढळेल. यात असे सुचवावयाचे आहे की इटर्बिअम हे काटेकोरपणे पाहता मूलद्रव्य या संज्ञेत चपखल बसणारे नसून, पुढे दिग्दर्शित केल्यानुसार काही मृ. दु. मू. चे मिश्रण आहे. इतर नव्याने शोधल्या गेलेल्या मूलद्रव्यांची नावे – जी पुढे मिश्रणे असल्याचे कळून चुकले – याचप्रमाणे अवतरण चिन्हात टाकलेली आहेत. अशा कारणांसाठी, १८७८ म्हणजे "इटर्बिअम"च्या शोधाची अंतिम तारीख असे समजता येत नाही.

'इटर्बिअम" वस्तुत: मूलद्रव्य नसून एक मिश्रण आहे हे त्यानंतरच्याच वर्षी स्विडिश रसायनज्ञ एल. निलसन याने सिद्ध केले. या नव्या मूलद्र-

त्याचे नाव त्याने स्कॅंडिनेव्हिआ देशाच्या स्मरणार्थ "स्कॅंडिअम" असे ठेवले.

म्हणजे एर्बिअम उणे "इटर्बिअम" उणे स्कॅंडिअम... असे चित्र दिसते. तर मग आता तरी अशुद्ध द्रव्यांपासून मुक्त असे एर्बिअमचे अखेरचे स्वरूप आहे असे मानता येईल का? पण गंमत अशी की १८७९ मध्ये नीलसनच्याच पी. क्लीव्ह या देशबांधवाने असे दाखविले की "इटर्बिअम" व स्कॅंडिअम या व्यतिरिक्त असणारे एर्बिअम तरीसुद्धा एक मिश्रणच आहे. क्लीव्हने हे मिश्रण तीन घटकात वेगळे केले. खुद्द एर्बिअम, "हेल्मिअम" आणि थुलिअम. स्टॉकहोमच्या जुन्या नावावरून "हेल्मिअम" हे नाव दिले गेले. तसेच थूल या दूरवरच्या आणि गूढ अशा गावी पोहोचणे जेवढे दुरापास्त तेवढेच थुलिअम अलग करणे कठीण काम होते.

१८७९ मध्ये अशुद्ध द्रव्यांपासून मुक्त झालेल्या एर्बिअमचे स्वतंत्र रासायनिक व्यक्तिमत्व संशयातीत सिद्ध झाले आणि त्याच्या शोधाचे १८४३ च्या ऐवजी हेच वर्ष समजता येईल. थुलिअम शुद्धावस्थेतच सापडल्याचे आढळून आले पण "होल्मिअम"चा खरा जन्म बराच पुढे होता. तेव्हा वायट्रिअम वृक्ष दोन वर्षांमध्ये मोठ्या बहारदारपणे विस्तारला :



मूलद्रव्यांच्या इतिहासात काही ठळक व तेजस्वी शिखरे आढळतात. अशी दोन तेजस्वी शिखरे म्हणजे १८७८ व १८७९ ही दोन वर्षे म्हणता येतील. मृ. दु. मू. च्या इतिहासात ती कशी, हे आपण आताच पाहिले. दुसरे कारण असे की याच वर्षात दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या नव्या खनिजाचे साठे दृष्टोत्पत्तीस आले. समरस्काइट असे त्या खनिजाचे नाव असून ते उत्तर अमेरिकेत सापडले. हे नाव रशियन उत्पत्तीचे आहे हे समजल्यास मोठे कुतुहल वाटेल. पूर्वी १८६० मध्ये जटिल स्वरूपाचा व मृ. दु. मू. चा अंश असणारा एक खनिजप्रकार उराल पर्वतराजीत सापडला. व्ही. ई. समर-

स्काय या खनिकर्म अभियंत्याच्या स्मरणार्थ वरील नाव दिले गेले. अमेरिकेत सापडलेले खनिज उराल येथील खनिजाशी अगदी मिळतेजुळते असल्याचे दृष्टोत्पत्तीस आले.

या घटनेचे महत्त्व केवढे आहे ते सांगणे अशक्य आहे. समरस्काइटच्या शोधामुळे या क्षेत्रातील कच्च्या मालाचा जो गंभीर तुटवडा सतत भासे तो नाहीसा झाला आणि अनेक रासायनिक प्रयोगशाळांना ते सहजगत्या उपलब्ध झाले. शास्त्रज्ञांना आपल्या संशोधनार्थ कच्च्या मालाचा पुरेपूर साठा उपलब्ध होतो तेव्हा ते अधिक तपशीलवार प्रायोगिक काम करू शकतात आणि आपले निष्कर्षही योग्य प्रकारे तपासून पाहू शकतात. नव्या मृ. दु. मू. ची समरस्काइट जणू जननीच ठरली.

याचबरोबर आणखी एका मदतीच्या प्रकारास शास्त्रज्ञांनी हात घातला. १८७० च्या अखेरीस नव्या मृ. दु. मू. च्या संशोधनास उपयुक्त ठरतील अशा सुधारणा वर्णपटीय पद्धतीत घडवून आणल्या परंतु "उत्पादन घट" जरा जास्तच असल्याचे दिसून आले. वैयक्तिक मूलद्रव्यांचे वर्णपट एकमेकांच्या वर्णपटांशी अगदी जुळणारे ठरले म्हणजेच त्यांचे केवळ रासायनिक गुणधर्मच मिळतेजुळते होते असा प्रकार नव्हता.

"डिडिमिअम", "समारिअम", यांचा अंत, निओडिमिअम आणि प्रेझिओडिमिअम

मृ. दु. मू. च्या इतिहासातील "डिडिमिअम" हे मोठे आश्चर्यजनक प्रकरण आहे. त्याचे लँथॅनमशी असलेले अभूतपूर्व रासायनिक साधर्म्य पाहून शास्त्रज्ञांची खात्री झाली की मृ. दु. मू. चे रसायनशास्त्र ही अकार्बनी रसायनशास्त्राची अगदी खास अशी शाखा आहे. कित्येक काळापावेतो "डिडिमिअम"च्या स्वरूपाबाबत कुणी शंका काढली नव्हती. गेल्या दशकातील मध्यावधीपर्यंतची रसायनशास्त्रीय मासिकांची, मुखपत्रांची पाने जर चाळली तर "डिडिमिअम" हे मूलद्रव्यांचे मिश्रण आहे" अशी पुसट शंका येणारे अस्पष्ट विधान सापडणे मुष्कील.

मेंदेलेयेवने Di हे चिन्ह आपल्या आवर्ती कोष्टकात अंतर्भूत केले. आणि "डिडिमिअम" हे एक स्वतंत्र मूलतत्त्व असल्याचे विशद केले, तरीपण हा

महान रशियन शास्त्रज्ञ मृ. दु. मू. बाबत साशंकच होता (उदा. टर्बिअमचे अस्तित्व त्याने नाकारले होते).

"डिडिमिअम"च्या देहान्ताच्या शिक्षेवर समरस्काइटच्या अभ्यासाने जणू स्वाक्षरी केली. १८७८ च्या अखेरीस एम. डेलफाँटेन याने समरस्काइटपासून मिळविलेल्या डिडिमिअमच्या अभ्यासास सुरुवात केली. तो एक पट्टीचा वर्णपटवैज्ञानिक होता आणि त्यास डिडिमिअमच्या वर्णपटात दोन नव्या रेषा आढळल्या. त्यावेळी असा रूढ रस्ता झाला होता की "वर्णपटात नवी रेषा म्हणजे नवे मूलद्रव्य"! डेलफाँटेनने अगदी तोच विचार केला.

त्याच्या मते "डिडिमिअम"मध्ये असणाऱ्या व पूर्वी माहीत नसलेल्या एका नव्या मूलद्रव्यामुळे वर्णपटात नव्या रेषा दृग्गोच्चर झाल्या आहेत. त्याने त्याचे नाव "डेसिपिअम" असे (लॅटिन भाषेत "फसविणे", "मूर्खात काढणे" या अर्थी असणाऱ्या शब्दावरून) ठेवले. गंमतीची गोष्ट अशी की नावाप्रमाणेच त्याने प्रभाव दाखविला, आणि "डेसिपिअम" हे स्वतःच ज्ञात-अज्ञात अशा अनेक मृ. दु. मू. चे मिश्रण असल्याचे उघडकीस आले. १८७९ मध्ये डेसिपिअमला उघडे पाडले ते फ्रान्सच्या एल. द बॉइसबॉड्रन याने. नव्या मृ. दु. मू. च्या शोधकार्यात त्याची महत्त्वपूर्ण भूमिका आढळते. पुढच्या प्रकरणात मेंदेलेयेवने भाकित केलेल्या अशा गॅलिअम नामक मूलद्रव्याचा त्याने कसा शोध लावला ते आम्ही तुम्हाला सांगणारच आहोत. बॉइसबॉड्रनने समरस्काइटपासून "डिडिमिअम" अलग केले आणि त्याचा वर्णपटविज्ञानाद्वारे बारकाईपूर्वक अभ्यास केला. डेलफाँटेनच्या तुलनेने बॉइसबॉड्रन निश्चितपणे अधिक तरबेज होता आणि. "डिडिमिअम"-मधली अशुद्ध द्रव्ये दूर करण्यात तो यशस्वीही झाला. नव्या मूलद्रव्यास त्याने समरस्काइटसंबंधीत "समारिअम" नाव दिले पण त्याला काय कल्पना की "समारिअम" सुद्धा काही मूलद्रव्यांचे अखेर मिश्रणच होते! बॉइसबॉड्रनच्या शोधास मेरिग्नॅकने ताबडतोब दुजोरा दिला. त्यासाठी त्याने "समारिअम"ची अनेकदा पुनर्स्फटिकीभवने केली आणि त्यातून दोन भाग वेगळे केले. मेरिग्नॅकने त्यांना Y_α आणि Y_β अशी खुणेची नावे दिली (त्यांची व वायट्रिअमचे Y हे जे चिन्ह आहे त्याची गल्लत होण्याचे कारण नाही.) यापैकी दुसऱ्या भागाचा वर्णपट "समारिअम"शी जुळता होता. दुसऱ्या भागाबाबत आपण नंतर विचार करू.

अशाप्रकारे विभागण्यास अशक्य असणाऱ्या "डिडिमिअम"ने "डिडिमि-

अम " आणि "समारिअम" या दोघांना वाट दिली. आता तरी "डिडिमि-अम" हे नाव अवतरण चिन्हात देण्याची काही जरूरी आहे काय? अखेर "समारिअम"पासून अलग होऊन "डिडिमिअम"ने आपली स्वतंत्र अस्मिता सिद्ध केलीच आहे ना?

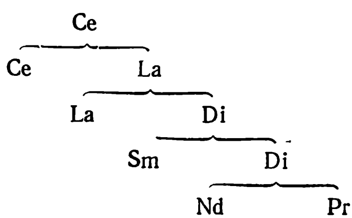
या ठिकाणी आपल्या विवेचनात एका नव्या व्यक्तीचा प्रवेश होत आहे. मेंदेलेयेवचा एक जिवलग स्नेही आणि त्याच्या आवर्ती नियमांच्या विचारांचा एक अतिशय निष्ठावान अनुयायी असणाऱ्या या झेक रसायनज्ञाचे नाव आहे बी. ब्रॉनर. १८७५ मध्ये सुरुवात करून ब्रॉनरने अतिशय चिकाटीने "डिडि-मिअम"चा अभ्यास केला. त्यामागे त्याचा एकच हेतु होता की "डिडि-मिअम"ची ऑक्सिडीकरणातून पंचसंयुजी स्थिती मिळते हे सिद्ध करावे. तसे झाल्यास, आवर्ती कोष्टकात तिसऱ्या किंवा चौथ्या गटात जागा न मिळालेल्या या मूलद्रव्यास पाचव्या गटात जागा मिळणे शक्य होईल. तसेच या कोष्टकात मृ. दु. मू.ना जागा देण्याची गुंतागुंतीची समस्या खूपच साधी बनेल.

पण ब्रॉनरला पंचसंयुजी "डिडिमिअम" मिळविता आले नाही व ते नैसर्गिक म्हणावे लागते. आज आपणास ठाऊक झालेच आहे की लँथॅनाइडे ऑक्सिडीकरणाच्या या स्थितीस पोहोचणे शक्य नाही. तथापि, "डिडिमि-अम"चा अणुवस्तुमानांक अगदी अचूकरित्या ठरविण्यासाठी हे मूलद्रव्य जेवढे शुद्ध स्वरूपाचे मिळविता येईल तेवढे मिळवावे असे ब्रॉनरने ठरविले. या प्रयत्नात त्याच्या असे निदर्शनास आले की समारिअमपासून अलग करण्यात आलेले "डिडिमिअम" तीन अंशात विभागता येते व त्यांचे अणुभार काही प्रमाणात एकमेकांपासून वेगवेगळे असतात. ब्रॉनरने हा प्रयोग १८८३ मध्ये केला पण त्यास कोणत्या ना कोणत्या तरी कारणामुळे आपले संशोधन चालू ठेवणे शक्य झाले नाही. हे फारच खेदकारक म्हटले पाहिजे कारण "डिडि-मिअम"च्या कथेच्या अगदी अखेरच्या टप्प्यापर्यंत तो पोहोचला होता.

हा मान अखेर ऑस्ट्रियाचा रसायनज्ञ सी. ऑएर फॉन वेल्सबॅक याला मिळाला. मृ. दु. मू.च्या रसायनशास्त्रात त्याने फार मोठी महत्त्वपूर्ण भर घातली. त्यावेळेपावेतो या मूलद्रव्यांचे कोणतेच व्यावहारिक उपयोग नव्हते पण वेल्सबॅकने त्यांच्याकडे तंत्रज्ञांचे लक्ष खेचून घेतले. त्यावेळी सारे जग गॅसचा प्रकाश वापरीत होते आणि १८८४ मध्ये वेल्सबॅकने या गॅसबत्त्यांसाठी एक नवे प्रावरण ऊर्फ पॅटल शोधून काढले की जे मृ. दु. मू.च्या विशिष्ट

क्षारामध्ये भिजविलेले (सिंचित केलेले) होते. यामुळे गॅसबत्तीचा प्रकाश कितीतरी तेजस्वी व झगझगीत होऊन मँटलची उपयुक्तता अधिक काळापर्यंत टिकत असे. साहजिकच "ऑएरचे मँटल" अशाच नावाने ते ओळखले जाऊ लागले. लागलीच उद्योगक्षेत्राकडून मृ. दु. मू.च्या खनिजांना शेकडो कि. ग्रॅ. ची मागणी आली. त्याबरोबरच १८८६ मध्ये ब्राझील देशात मृ. दु. मू. मोठ्या प्रमाणात असणाऱ्या मोनाझाइट वाळूचे विस्तृत साठे हाती आले. त्यामुळे संशोधनार्थ शास्त्रज्ञांना लागणाऱ्या कच्च्या मालाची गरजही संपुष्टात आली.

८ जून १८८५ रोजी वेल्सबॅकने, आपण "डिडिमिअम" दोन घटकात कसे विभागले याचा अहवाल व्हिएन्नाच्या "व्हिएन्नीज अॅकॅडेमी ऑफ सायन्सेस"ला सादर केला. त्यापैकी एकास त्याने प्रेझिओडिअम असे नाव दिले ("हिरव्या रंगातील जुळे"—अशा अर्थाच्या ग्रीक शब्दावरून हे नाव दिले असून क्षारांचा रंग फिकट हिरवा होता). दुसऱ्या घटकास निओडिमिअम ("नवे जुळे") असे नाव दिले. म्हणजे जुन्या "डिडिमिअम"चे नावसुद्धा टिकले नाही! आता सेरिअमचे "झाड" पुढीलप्रमाणे दिसते—



गॅडोलिनिअम आणि डिस्प्रोसिअम

१९ व्या शतकातील मृ. दु. मू. चा इतिहास या दोन मूलद्रव्यांनी पूर्ण होतो. गॅडोलिनिअमच्या बाबतीत जी. द मेरिग्नॅक याची निर्णायक भूमिका ठरली.

आम्ही मागेच उल्लेख केला आहे की मेरिग्नॅकने "समारिअम"ची दोन भागात विभागणी करण्यात यश मिळविले. हे भाग म्हणजे Y_α व Y_β हे होत. Y_β या भागाबाबत कोणतीच अडचण उद्‌भवली नाही पण Y_α भागाने मात्र चांगलाच त्रास दिला. हा भाग म्हणजे खरे तर एक नवे

मूलद्रव्यच आढे एवटे लक्षात येण्याइतपत मेरिग्नॅक चाणाक्ष नव्हता. हा निष्कर्ष अखेर १८८६ मध्ये बॉइसबॉड्रनने काढला. नव्या मूलद्रव्यास त्याने गॅडोलिनिअम असे नाव देण्याचे ठरविले (मृ. दु. मू. च्या रसायनशास्त्रात अग्रेसर समजल्या जाणाऱ्या गॅडोलिन याच्या स्मरणार्थ व सन्मानार्थ) आणि या विचारास मेरिग्नॅकची संमती विचारली. तशी संमती मिळाली पण मेरिग्नॅकच्या दिलदार वृत्तीचे यात झालेले दर्शन मोठे मनोहरी आहे. त्याने सहसंशोधक म्हणून हक्कही दाखविला नाही किंवा शोधाच्या अग्रेसरत्वाचा मानही मागितला नाही. तथापि, आमचा असा आग्रह आहे की गॅडोलिनिअमच्या शोधाचे श्रेय या दोघाही शास्त्रज्ञांना मिळावयास हवे.

डिस्प्रोसिअम मात्र १८८६ मध्ये बॉइसबॉड्रनने एकटचानेच शोधले हे निर्विवाद. पुरेशा शुद्ध प्रमाणात "होल्मिअम" तयार केल्यानंतर त्याच्या वर्णपटाचा सूक्ष्म अभ्यास त्याने केला. यामधून त्यास दोन नव्या रेषा सापडल्या आणि त्यायोगे एका अज्ञात मूलद्रव्याचे अस्तित्व सुचविले गेले. अनेकदा पुनर्स्फटिकीभवनाची क्रिया करून अशुद्धता वेगळी करण्यात आली व अशा तऱ्हेने डिस्प्रोसिअम आणि होल्मिअमही शोधले गेले. ग्रीक भाषेतील "मिळविण्यास कठीण" या अर्थी असणाऱ्या शब्दापासून हे नाव तयार केले गेले. मृ. दु. मू. च्या इतिहासाचे हे नाव योग्य असे प्रतीकच ठरते.

मृदवर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील "संभ्रम-काल"

मृ. दु. मू. च्या विद्यमान यादीकडे नजर टाकल्यास लक्षात येईल की त्यापैकी बहुतेक सर्व मूलद्रव्ये १८८६ पर्यंत शोधली गेली आहेत. फक्त प्रोमेथिअम माहीत नव्हते (ती तशी एक विशिष्ट बाबच होती). युरोपिअम व ल्युटेशिअम यांचा शोध लागण्यास विसावे शतक उजाडण्याचे बाकी होते. या वर्गातील बहुतेक सर्व मूलद्रव्ये शोधली गेली होती, पण १८८० च्या उत्तरार्धात त्याबाबत निश्चितपणे कोणास ठाऊक होणे शक्य होते काय? या मूलद्रव्यांची नैसर्गिक कुंडे आता आटली असे विश्वासपूर्वक सांगणे कोणाला तरी शक्य होते का?

त्यापेक्षा, भविष्यकाळात अद्यापीही काही मृ. दु. मू. चा शोध लागावयाचाच आहे हा विचार मात्र मोठा उत्साहजनक होता; तशी आशा सहजासहजी नष्टही करता येत नाही. आवर्ती कोष्टकात, बेरिअम व टॅंटॅलम

यांच्यामधली प्रशस्त जागा मृ. दु. मू. ना मिळाली होती. त्यांच्या अणुभारातील फरक ४५ एककांएवढा (युनिटांएवढा) होता. ज्ञात – अज्ञात अशा कितीतरी मृ. दु. मू. चा समावेश या जागेत करता येणे शक्य होते. वीस, तीस किंवा चाळीस... कोणतीही संख्या योग्यच ठरली असती. कारण ही संख्या नेमकी किती ते कोणालाच ठाऊक नव्हते, म्हणून कोणताही आकडा वाजवीच ठरला असता. अशा या डळमळीत पायावर अनेक मृ. दु. मू. च्या शोधांना चालना मिळत होती.

खऱ्या यशाचे मोल जाणणारे अनेक उत्साही व जिद्दी शास्त्रज्ञ या शोधांच्या मागे लागले आणि त्यांनी मोठे आश्चर्यजनक निष्कर्ष मिळविलेही. पण दैवगती अशी उलटी की आपल्याच चुका त्यांना स्वतःहून कबूल कराव्या लागल्या. स्कँडिअमचा संशोधक एल. नीलसन व त्याचा सहाय्यक जी. क्रुक्स यांनी मोठ्या आत्मविश्वासपूर्वक सांगितले की हेल्मिअम चार घटकात आणि डिस्प्रोसिअम तीन घटकात विभागता येते. थोडक्यात, एकाच वेळी सात नव्या मूलद्रव्यांचा जन्म झाला! आपले संशोधन-वृत्तांत काटेकोर लिहिण्याबाबत प्रसिद्ध असणाऱ्या ब्रॉनरला सेरिअममध्ये अशुद्ध द्रव्य सापडले व त्यास त्याने मेटासेरिअम असे नाव दिले. असे किती तरी प्रकार पहावयास मिळतील.

वर्णपटीय विश्लेषणावर तर शास्त्रज्ञांचा अतिशय विश्वास बसला होता. वर्णपटात एखादी नवीन रेषा गवसण्याचाच अवकाश, की लागलीच नव्या मूलद्रव्याचा शोध जाहीर झालाच म्हणून समजावे! त्यावेळचे वर्णपटीय विश्लेषण तसे अपरिपक्वच होते. त्यामळे एखादी नवीन रेषा खरोखरीच नव्या मूलद्रव्याची निर्देशक आहे की ज्ञात मूलद्रव्यातील कोणत्यातरी अशुद्ध द्रव्यामुळे, हे ठरविणे नेहमीच शक्य होत नसे. या गटातील मूलद्रव्यांचे जे अनेक खोटे शोध लागले त्याचे प्रमुख कारण बहुधा हेच होते. आणखीही एक महत्त्वाची मर्यादा पडत होती, ती अशी की त्यावेळी विलगन पद्धती बोटांवर मोजण्याएवढ्याही नव्हत्या. एका पद्धतीचा भार मृ. दु. मू. च्या क्षारांच्या वेगवेगळ्या द्रावणीयतेवर (विरघळण्याच्या क्षमतेवर) होता, तर दुसऱ्या पद्धतीत या क्षारांच्या भिन्नभिन्न आम्लारिधर्मतेवर मदार असे. एखादा पदार्थ शुद्ध असे मूलद्रव्य आहे की त्यामध्ये अशुद्ध द्रव्ये आलेली आहेत हे कसे ओळखावयाचे? त्यासाठी ऑक्साइडांचा अणुवस्तुमानांक वेळोवेळी तपासावा लागत असे. हे मूल्य जर पुष्कळसे स्थिर आढळले तर हेतु

साध्य झाला असे म्हणता येई. पण ही पद्धत अत्यंत वेळखाऊ व मोठ्या जिकिरीची होती.

१८८० मध्ये मेंदेलेयेवची आवर्ती पद्धती व आवर्ती नियम विस्तृत प्रमाणात मान्यता पावला होता. अशा अवस्थेत, नव्याने शोधल्या जाणाऱ्या मूलद्रव्यास आवर्ती कोष्टकात जागा देणे क्रमप्राप्त ठरले. तरीही, जवळ-जवळ साऱ्याच मृ. दु. मू. ना "घर" मिळाले नाही हे ऐकून काहीसे आश्चर्यच वाटेल. खरे तर बरीच मोकळी जागा बेरिअम व टँटॅलम यांच्यामध्ये उरली होती. म्हणजे जागेचा प्रश्न नव्हता पण मृ. दु. मू. च्या गुण-धर्मांशी सहमत होणे हेच कठीण काम होते. जर आवर्ती कोष्टकातील सर्वच गटात (पण तिसरा व चवथा गट सोडून) जागा दिली असती तर परक्या मूलद्रव्यांना सर्वच गटात घुसडले असाच त्याचा अर्थ झाला असता. म्हणूनच डिडिमिअम पंच-संयुजी आहे असे ठरविण्याचा ब्रॉनरने अट्टाहास धरला होता. या मूलद्रव्यांचा आवर्ती कोष्टकाशी झगडा उडाल्यामुळे चुकाच चुका करणे हे मग अवघड काम ठरले नाही! परिणामी मुलद्रव्यांच्या इतिहासात प्रथ-मतःच सुचविले गेले की मृ. दु. मू. ही काटेकोरपणे बघितल्यास मूलद्रव्ये नसून मूलद्रव्यांचे प्रकार आहेत. यावरूनच अगदी सहजगत्या पटावे की त्यांच्या गुणधर्मात केवढे अभूतपूर्व साधर्म्य आहे!

या कल्पनेचा जनक होता थॅलिअमचा संशोधक डब्ल्यु. क्रुक्स हा रसाय-नज्ञ. त्याचे नाव आपल्या कानावर पूर्वीच आले असून आपण त्यास आण-खीही बऱ्याच वेळा भेटणार आहोत. त्याचा विचार असा की मृ. दु. मू. म्हणजे मूलद्रव्यांची परिवर्तित (थोडा बदल झालेली) रूपे असून त्यानुसार त्यांना परामूलद्रव्ये (मेटाएलिमेंट्स) म्हणणेच योग्य ठरते. क्रुक्सने आपला हा निष्कर्ष वर्णपटीय विश्लेषणाच्या आधारे काढला पण याबाबतीत तरी वर्णपटीय विश्लेषण पुरे पडू शकले नाही. बॉइसबॉड्रनने सिद्ध केले की क्रुक्सचे निष्कर्ष चुकीचे आहेत.

अशा तऱ्हेने परामूलद्रव्यांच्या कल्पनेचा शेवट झाला. तथापि, एक लक्षात घेणे जरूरी आहे की अगदी चमत्कृतीपूर्ण कल्पनेमध्येही केव्हा केव्हा नखभर का होईना पण सत्याचा अंश आढळतो. सर्वसाधारण मूलद्रव्ये म्हणजे परामूलद्रव्यांची मिश्रणे आहेत अशा विश्वासातून क्रुक्सने कल्पना केली की प्रत्येक मूलद्रव्यामध्ये वेगवेगळ्या प्रकारचे अणू आहेत. त्याने असेही सुचविले की "मूलद्रव्य" या संज्ञेऐवजी "मूलद्रव्यात्मक गट" ही संज्ञा वापरावी.

पुढे जो असा विचार आला की अनेक रासायनिक मूलद्रव्ये ही वस्तुतः समस्थानियांची मिश्रणेच होत, त्याच्याशी क्रुक्सच्या विचारांची तुलना करून पहावी. असे ध्यानात येईल की मोठ्या आश्चर्यजनक प्रकारे व अचूकपणे क्रुक्सने मूलद्रव्यांचे भावी समस्थानीय स्वरूपच वर्तविले होते.

आम्ही १९ व्या शतकाच्या अखेरच्या काळास मृ. दु. मू. च्या संदर्भात "संभ्रमाचा काळ" असे म्हटले. पण टप्प्याटप्प्याने शास्त्रज्ञ सत्यानजीक गेले. त्यांच्यापैकी काहींनी कमीअधिक अचूकतेने मृ. दु. मू. ची एकूण संख्या किती या बाबत अंदाज केला. डॅनिश भौतिकशास्त्रज्ञ एच. थॉमसन याचा अंदाज अचूक ठरला, त्याने १५ हा आकडा सूचित केला. आवर्ती कोष्टकाची जिन्यासारखी रचना सुचविणारे हेच थॉमसन होत. ही रचना आजही वापरली जाते. आर. ब्रॉनरने सर्व मृ. दु. मू. चा एकाच गटात अंतर्भाव केला व त्याचेच दृश्य स्वरूप आज पहावयास मिळते.

पॅरिस येथे इ. स. १९०० मध्ये भरलेल्या जागतिक प्रदर्शनात लँथॅनम, सेरिअम व निओडिमिअम यांचे धातुरूप नमुने प्रदर्शित केले गेले. विज्ञान आणि तंत्रज्ञान क्षेत्रातील एक मौलिक कामगिरी म्हणून त्यांच्याकडे पाहिले गेले.

इटर्बिअम आणि ल्युटेशिअम

या प्रकरणाच्या अगदी सुरुवातीस ज्यांचा उल्लेख केलेला आहे त्या जी. उर्बेन यांनी मृ. दु. मू. चे रसायनशास्त्र विकसित करण्यास महत्त्वपूर्ण हातभार लावला. त्यांनी विलगनाची पद्धत पूर्णावस्थेस नेली, काही ऑक्साइडे अतिशय शुद्ध स्वरूपात मिळविली (शुद्ध थॅलिअम मिळविण्यासाठी त्यांनी पुनर्स्फटिकीभवनाची क्रिया १५,००० वेळा केली!) अणुभार पुन्हा निश्चित केले. तथापि एखादे नवे मूलद्रव्य स्वतःहून शोधण्यात काही ते यशस्वी ठरले नाहीत.

१९०७ साल उजाडल्यानंतरच या शास्त्रज्ञाचे नशीब खुलले. उर्बेननी सिद्ध केले की मेरिग्नॅकने पूर्वी शोधलेले "इटर्बिअम" हे दोन मूलद्रव्यांचे मिश्रण आहे. एकासाठी पूर्वीचेच नाव कायम राखले. यावरून असे दिसते की इटर्बिअमच्या जन्माची नक्की तारीख १९०७ ही ठरते. दुसऱ्या मूलद्रव्यास त्याने, पॅरिसचे जे ल्युटेशिया हे जुने नाव होते त्याच्या आदरार्थ ल्युटेशिअम असे नाव दिले.

असे निष्पन्न होते की जेव्हा उर्बेन "इटर्बिअम"वर काम करत होता त्याच वेळी वेल्सबॅकही (ज्याने डिडिमिअमला डच्चू दिला) अगदी तसेच प्रयोग करत होता. "इटर्बिअम" दोन घटकात त्यानेही वेगळे केले आणि एकास "अल्डेबरानिअम" व दुसऱ्यास "कॅसिओपिअम" ही नक्षत्रांशी संबंधित नावे दिली. (मराठीत अल्डेबरान म्हणजे रोहिणी व कॅसिओपिया म्हणजे शर्मिष्ठा अशी या नक्षत्रांची नावे आहेत).

उर्बेनचा यासंबंधीचा लेख कित्येक महिन्यांपूर्वी प्रसिद्ध झाला होता व म्हणूनच ल्यूटेशिअमचा संशोधक तोच ठरतो. मात्र जर्मन शास्त्रीय वाङमयात "कॅसिओपिअम" व त्याचे Cp हे चिन्ह यांचा दीर्घकाळ वापर होत होता. अनेक शास्त्रज्ञ असेही समजत होते की वेल्सबॅकचे निष्कर्ष अधिक विश्वसनीय आहेत. एकाच नव्या मूलद्रव्याच्या शोधाबाबत दोन वेगवेगळ्या देशातील शास्त्रज्ञांनी जनकत्वाचा दावा करावा ही या वर्गातील मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील दुसरी वेळ होय. तरीपण, त्यामध्ये आणखी एका तिसऱ्या नावाचा अंतर्भाव करण्यास सबळ कारण आहे–सी. जेम्स या अमेरिकन रसायनज्ञाचा. त्याने स्वतंत्रपणे दाखवून दिले की "इटर्बिअम" हे मूलद्रव्यांचे वस्तुतः मिश्रण आहे. त्याने आपले प्रयोग व निष्कर्ष प्रसिद्ध केले खरे पण तोपावेतो शास्त्रीय जगत उर्बेन व वेल्सबॅक यांच्या कार्याशी पूर्णतया परिचित झाले होते.

ल्यूटेशिअम हे नैसर्गिक अशा मृ. दु. मू. च्या मालिकेतील अखेरचे मूलद्रव्य ठरले आणि ही मालिका संपली. उर्बेनला मात्र तसे वाटत नव्हते. १९११ मध्ये त्याने सेल्टिअम या एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध जाहीर केला व आवर्ती कोष्टकात त्यास ल्यूटेशिअमनंतर जागा दिली. परंतु पुढे असे दृष्टोत्पत्तीस आले की सेल्टिअमचा शोध ही एक प्रायोगिक चूक होती; उर्बेनने त्याच्या वर्णपटाचा अर्थ चुकीचा लावला होता. त्यात दिसलेल्या "नव्या" रेषा वास्तविक पूर्वीच ज्ञात झालेल्या मूलद्रव्यांच्या होत्या.

मृदवर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील बोध

मृ. दु. मू. चा इतिहास खरोखरीच बोधप्रद ठरतो. आपल्या कार्यास पूर्णपणे वाहून घेणाऱ्या व असीम त्यागवृत्ती बाळगणाऱ्या पिढ्यापिढ्यांच्या रसायनशास्त्रज्ञांनी तो घडविला आहे. त्यामध्ये सपक प्रसिद्धीच्या व दिखाऊ

यशाच्या मागे धावणाऱ्यांना मुळीसुद्धा जागा नाही. अत्यंत कंटाळवाणे व जणू शेवटच नाही एवढे दीर्घकाल चालणारे संशोधनकार्य करण्यास केवढ्या अमर्याद चिकाटीची जरूरी होती याची कल्पनाच केलेली बरी.

हा इतिहास एकजिनसी व अखंड प्रक्रियेचा असून त्यातील एकही टप्पा वगळता येणार नाही. एका मूलद्रव्याचा शोध म्हणजे नंतरच्या शोधाची पार्श्वभूमी ठरल्याचे आढळेल व त्यायोगे अखंडत्व अधिकच प्रकर्षाने जाणवेल. अनेक चुकासुद्धा कालान्तराने लाभदायक ठरल्या, कारण त्यामुळेच शास्त्रज्ञांना संशोधनपद्धतीत सुधारणा करणे शक्य झाले. त्यायोगे, स्वतःच्या व सह-काऱ्याच्या निष्कर्षांची तपासणी करता आली. मृ. दु. मू. च्या इतिहासात महत्त्वपूर्ण ठरलेल्या मूलद्रव्यांचे जे पुनःपुन्हा शोध लागले तसे इतर कोणात्याही बाबतीत आढळत नाही.

नवनवीन खनिजांच्या शोधांमुळे तर या मूलद्रव्यांच्या इतिहासावर खूपच परिणाम झाला. समरस्काइट व मोनाझाइट यांच्या शोधामुळे शास्त्रज्ञांची कच्च्या मालाची गरज पूर्णतया भागली हे आपण मागेच पाहिले आहे. कच्च्या मालाच्या पुरवठ्याबाबत असलेली एवढी प्रचंड पराधीनता, इतर कोणत्याही मूलद्रव्याच्या बाबतीत अजोड ठरते. शेवटी सांगण्यासारखी एक वस्तुस्थिती अशी की या मूलद्रव्यांना आवर्ती कोष्टकात स्थान देण्याएवढा गहन प्रश्न पूर्वी कधीच उद्भवला नव्हता. एक तर त्यांची निश्चित संख्या किती, ते माहीत नव्हते. तसेच या मूलद्रव्यांचे रासायनिक गुणधर्म एवढे समान का याचेही आकलन होत नव्हते. ते स्पष्ट झाले ते केवळ १९२१ मध्ये, जेव्हा डॅनिश शास्त्रज्ञ एन. बोहर यांनी आवर्ती नियमाबाबत स्वतःची अशी विचारप्रणाली प्रस्थापित केली. रसायनशास्त्रज्ञांना दीर्घकाळ सताव-णाऱ्या या प्रश्नाचे उत्तर देणे अखेर बोहूर यांना शक्य झाले. एवढे जरी असले तरी या मूलद्रव्यांना आवर्ती कोष्टकात सामावून घेण्याचा उत्कृष्ट मार्ग कोणता याबाबत आजही वादविवादाच्या ठिणग्या उडतच आहेत.

प्रकरण ८ वे

हेलिअम व इतर निष्क्रिय वायु

हेलिअम, निऑन, आर्‌गॉन, क्रिप्टॉन, रेडॉन, व झेनॉन हे सहा निष्क्रिय वायू (आज त्यांना निष्क्रिय मूलद्रव्ये असे म्हटले जाते) निसर्गात अत्यंत दुर्मिळ आहेत. अगदी कालपरवापर्यंत, या वायूंपासून रासायनिक संयुगे अस्तित्वात येणे अशक्यप्राय, असेच समजले जात होते. म्हणून तर त्यांना निष्क्रिय किंवा राजस वायू हे नाव मिळाले होते. (रॅम्से याने "दुर्मिळ" वायू हे आणखी एक नाव सुचविले होते पण त्यास मान्यता लाभली नाही). त्यांची दुर्मिळता आणि अक्रियाशीलता यामुळे त्यांचे शोध फार उशिरा म्हणजे १९ व्या शतकाच्या अगदी अखेरीस लागले. त्यावेळेपावेतो निरनिराळ्या भौतिक पद्धती, विशेषत: वर्णपटीय विश्लेषण आणि वायूंचे द्रवीकरण या उत्तमप्रकारे विकसित झाल्या होत्या. एक चित्तवेधक बात अशी की सारे निष्क्रिय वायू हे मुक्तावस्थेत (कशाशीच संयोगित न झालेल्या अवस्थेत) मिळविले गेले (आणि याच अवस्थेत निसर्गात त्यांची गाट पडते), आणि तेही थोडक्या कालावधीत. अर्‌गॉन, हेलिअम, निऑन, क्रिप्टॉन आणि झेनॉन यांच्या शोधात निर्णायक भूमिका जर कोणाची असेल तर अत्यंत श्रेष्ठ इंग्लिश शास्त्रज्ञ डब्ल्यु. रॅम्से यांची. याच कामाप्रीत्यर्थ त्यांना १९०४ चे नोबेल पारितोषिक मिळाले.

हेलिअम व रेडॉन यांचे शोध चमत्कृतीजन्यच समजले जातात. किरणोत्सारकतेच्या अभ्यासातून रेडॉनचा शोध लागला; किंबहुना, काटेकोरपणे असेच म्हणावे लागेल की हा शोध रेडिओमितीचा उपयोग केल्यामुळे लागला. म्हणून आपण त्याचा ११ व्या प्रकरणात विचार करू, कारण हे प्रकरण किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या इतिहासाबाबत विवेचन करणारे आहे. हेलिअमच्या शोधास रसायनशास्त्राच्या इतिहासात एक खास महत्त्व आहे. १८६८ मध्ये सौर-उद्रेकाच्या वर्णपटात एक रेषा अशी आढळली की जिचा पृथ्वीवरील कोणत्याही ज्ञात मूलद्रव्याशी संबंध लागेना. या रेषेचा संबंध सूर्यावरील एका

नव्या मूलद्रव्याशी जोडण्यात आला व त्यास "हेलिअम" असे नाव दिले गेले. त्यानंतर सत्तावीस वर्षांनी पृथ्वीवर पहिल्यांदा हेलिअम मिळविण्यात आले.

हेलिअम

हेलिअमच्या वैचित्र्यपूर्ण कथेने अनेक शास्त्रज्ञांना व इतिहासकारांना आकर्षित केले. पण या कथेतील घटनांचा खराखुरा क्रम निरनिराळ्या विवेचनांनी एवढा विस्कळित केला गेला की अखेर तीमध्ये दंतकथांचा अगदी सुकाळ झाला. सौरमूलद्रव्याबाबत एक मोठी चित्तवेधक दंतकथा प्रचारात आली पण ती अर्थातच सत्यापासून फारच दूर आहे.

फ्रेंच खगोलशास्त्रज्ञ जे. जानसेन व इंग्लिश खगोलशास्त्रज्ञ एन. लॉकिअर हे हेलिअमचे संशोधक समजले जातात. त्यांनी १८६८ चे खग्रास सूर्यग्रहण अभ्यासिले. हा अभ्यास किंवा निरीक्षण विशेषत: हिंदी महासागरानजिकच्या किनाऱ्यांवरून फार सोयीस्कर होते. पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला लिहिलेल्या व विद्वतसभेपुढे वाचल्या गेलेल्या पत्रांमध्ये ते लिहितात की "या ग्रहणाच्या वेळी आम्ही सूर्याच्या वर्णपटाचे जे छायाचित्र चित्रित केले त्यामध्ये D_3 ही पिवळ्या रंगातील एक नवी रेषा आढळली व ती एका नव्या, अज्ञात मूलद्रव्याशी संबंधित आहे". पृथ्वीवर अस्तित्वात नसलेल्या पण सूर्यावर असणाऱ्या एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध लागणे ही घटना मोठी रोमहर्षक होती. साहजिकच ती साजरी करण्यासाठी एक खास पदक प्रसृत केले गेले.

पण खरी परिस्थिती अशी आहे की या हकिकतीतील दोन तारखा सोडता ती सर्वस्वी खोटी आहे! प्रथमत: सांगण्यासारखे हे की १८६८ च्या ऑगस्टमध्ये लॉकियर हिंदी महासागरानजीकच्या किनाऱ्यावर मुळीच नव्हता; त्याने खग्रास सूर्यग्रहणाचे निरीक्षणही केले नाही. जानसेनची निरीक्षणे ग्रहण संपल्यानंतरची आहेत. खगोलशास्त्राच्या दृष्टीने ती महत्त्वाची असली तरी हेलिअमच्या इतिहासाच्या दृष्टीने मात्र नाहीत. तेज:शृंगांचे (सूर्यातून बाहेर फेकले जाणारे सौरसाहित्य) निरीक्षण करणारा तो पहिला फ्रेंच खगोलशास्त्रज्ञ खरा पण ते ग्रहणकालात नव्हे. पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला त्याने जी तार केली त्यातील मजकूर पुढीलप्रमाणे होता: "ग्रहण व तेज:शृंगांचे निरीक्षण केले, वर्णपट वैशिष्टचपूर्ण आणि अनपेक्षित आहे, तेज:शृंगे वायुरूप स्वरूपाची आहेत."

त्यावेळेपावेतो शास्त्रज्ञांना तेज:शृंगांबद्दल काही एक माहिती नव्हती. आज मात्र आपणास ठाऊक झाले आहे की ते वायुरूप पदार्थांचे ढग असून त्यांची रासायनिक जडणघडण अत्यंत जाटिल स्वरूपाची असते. आपल्या निरीक्षण कामाचे काटेकोर वर्णन जानसेनच्या पत्रात असून निरीक्षणकार्यानंतर ४० दिवसांनी पॅरिसला ते पोहोचले (आणि एस. राये नामक दुसऱ्या एका फ्रेंच खगोलशास्त्रज्ञाच्या पत्रानंतर दोन आठवडे उशिरा पोहोचले). रायेनीही तेज:शृंगांची निरीक्षणे केलीच होती आणि त्याबाबत काही निष्कर्ष पण काढले होते. यावेळी लॉकियर कशात गुंतले होते? तर इंग्लंड न सोडताच त्यांनी एका विशेष संरचनेच्या वर्णपटदर्शकातून तेज:शृंगांचे निरीक्षण केले आणि वर्णपटातील तत्संबंधी रेषांच्या जागा निश्चित केल्या. २३ ऑक्टोबर रोजी त्यांनी पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला पत्र पाठविले आणि आश्चर्याची गोष्ट अशी की जानसेन यांचे पत्र व लॉकियर यांचे पत्र एकाच दिवशी ॲकॅडेमीस मिळाले!

२६ ऑक्टोबर रोजी भरलेल्या विद्वत्सभेत जानसेन व लॉकियर या दोघांचीही पत्रे वाचली गेली, पण कोणाच्याच पत्रात त्या कल्पित सौर-मूलद्रव्याचा किंवा संबंधित वर्णपटीय रेषेचा एक शब्दसुद्धा नव्हता. हीच रेषा हेलिअमच्या वर्णपटातील तद्विषयक विशेष रेषा म्हणून ओळखली गेली. पत्रांमध्ये एवढेच दिग्दर्शित केले होते की जेव्हा सूर्यास ग्रहण लागलेले नव्हते तेव्हा तेज:शृंगे निरीक्षण्यात आली. जे पदक प्रसृत केले गेले ते नेमके याच घटनेचे प्रतीक म्हणून.

म्हणजेच जानसेनने किंवा लॉकियरने १८ ऑगस्ट १८६८ रोजी हेलिअम वगैरे कोणत्याच मूलद्रव्याचा शोध लावला नव्हता. एवढे मात्र खरे की त्यांच्या निरीक्षणकार्यामुळे तेज:शृंगांचा अभ्यास करण्यास मोठीच चालना मिळाली. यानंतर मात्र पाहण्यात आले की त्यांच्या वर्णपटात अशी एक रेषा आहे की जिचा संबंध पृथ्वीवरील ज्ञात अशा कोणत्याच मूलद्रव्याशी जोडता येत नाही. इटालियन खगोलशास्त्रज्ञ ए. सेकी याने या रेषेचे निरीक्षण केले व पुढे तीस D_3 हे चिन्ह दिले. जानसेन व लॉकियर यांच्यासमवेत सेकीचे नाव घेतलेच पाहिजे. हेलिअमचा शोध लावण्याच्या कामी, पूर्वीच्या लोकां-पेक्षा सेकीचे काम कमी समजण्याचे मूळीच कारण नाही. तथापि, सेकी असे समजला की ही रेषा एखाद्या ज्ञात मूलद्रव्याशीच – उदा. हायड्रोजनशी संबंधित असणे शक्य आहे, पण ती उच्च दाब व तपमान अशा परिस्थितीत

असल्यामुळे फरक पडत असावा. सेकीची जर अशी समजूत झाली नसती तर D_3 रेषेचा संबंध, पृथ्वीवर माहीत नसणाऱ्या मूलद्रव्याशी जोडण्यास सेकी नक्कीच तयार झाला असता.

एन. लॉकियर आणि इ. फ्रँकलँड यांनी सेकीस पडलेली समस्या सोडविण्याचा प्रयत्न केला पण हायड्रोजनच्या वर्णपटात त्यांना कोणताच बदल आढळेना. म्हणूनच, आपल्या ३ एप्रिल १८७१ रोजी लिहिलेल्या लेखात लॉकियरने "नवे मूलद्रव्य क्ष" असा शब्दप्रयोग केव्हाच करून टाकला. "हेलिअम" ("सौर" या अर्थी असणाऱ्या हेलिऑस या ग्रीक शब्दावरून) हे नाव बहुधा फ्रँकलँडने सुचविले असावे असे समजण्यास बरीच जागा आहे. त्याच वर्षी, ३ ऑगस्टच्या ब्रिटिश ॲसोसिएशनच्या सभेत व्ही. थॉम्सनी (लॉर्ड केल्व्हिन), तिच्या अध्यक्षानी "हेलिअम" शब्द प्रथमच उच्चारला. हेलिअमच्या शोधाबाबत "कधीच साध्य झालेली गोष्ट" असे जरी आपण समजलो, तरीसुद्धा तिचे वैचित्र्यपूर्ण स्वरूप राहतेच राहते. ते एकच असे मूलद्रव्य होते की जे प्रत्यक्ष हाताळता येण्याजोग्या स्वरूपात अलग करणे शक्य नव्हते. सर्वसाधारण परिस्थितीत हेलिअमचे स्वरूप काय आहे — वायूरूप, द्रवरूप की घनरूप? त्याचे गुणधर्म कोणते व कसे आहेत? त्याचा अणुभार किती? आणि मूलद्रव्याच्या नैसर्गिक मालिकेत त्याचे स्थान कुठे व कोणते?

या प्रश्नांपैकी एकाचेही अगदी अंदाजी स्वरूपाचे सुद्धा उत्तर देणे शक्य नव्हते. शिवाय, सेकीची समस्या पूर्णतया उकलली नव्हतीच. अशा तऱ्हेने केवळ कल्पित मूलद्रव्य असे समजण्याचा एक कालखंड हेलिअमच्या इतिहासात सुरू झाला. या मूलद्रव्याबाबत कोणाचेच एकमत होत नव्हते. मेंदेल्येवने सेकीचा मुद्दा उचलून धरला. त्यालाही असेच वाटले की ती उजळ रेषा उच्च तपमान व दाब याखाली असणाऱ्या कोणत्यातरी ज्ञात मूलद्रव्याशीच संबंधित असावी. डब्ल्यु. क्रुक्सला मात्र हेलिअमचे स्वतंत्र अस्तित्व निर्विवादपणे मान्य होते. तो असेच मानत होता की हेलिअम हे मूलभूत स्वरूपाचे मूलद्रव्य असून त्याच्या एकापाठोपाठ होत जाणाऱ्या रूपांतरणातूनच इतर सर्व मूलद्रव्ये अस्तित्वात येतात.

कधीकधी असेही वाटते की गूढतेबाबत एकटे हेलिअमच काही अद्वितीय नाही; कारण खगोलशास्त्रज्ञांनी सूर्य, तारे व अभ्रिका यांच्यासारख्या खगोलस्थ वस्तूंच्या वर्णपटात नव्या रेषा शोधल्याच होत्या. त्यानुसार अनेक कल्पित मूलद्रव्ये अवतीर्ण झाली. उदाहरणार्थ, कोरोनिअम, आर्को-

निअम, नेब्युलिअम, प्रोटोपल्युओराइन, इ. नावे त्यांना मिळालेली होती. पढे अनेक वर्षांनी ती अस्तित्वातच नाहीत असे आढळून आले आणि हेलिअम तेवढे टिकले.

परंतु सर्व लोकांची मान्यता मिळविण्यासाठी हेलिअमला आपला भूस्थित चेहरा दाखविणे फार जरूरी होते आणि एका अकल्पित प्रसंगाने त्याचा स्थित इतिहास सुरू झाला.

१ फेब्रुवारी १८९५ रोजी डब्ल्यु. रॅम्से यांना ब्रिटिश वस्तुसंग्रहालयाच्या के. मिअर्स नामक कर्मचाऱ्याकडून एक छोटेसे पत्र आले. यावेळेपावेतो अर्‌गॉनचे संशोधक म्हणून रॅम्सेना चांगलाच मान होता आणि म्हणूनच असे वाटते की मिअर्सने त्यांची निवड हेतुपुरस्सरच केली असावी. आपल्या पत्रात मिअर्सने हिल्डेब्रँड यांने 'यु. एस. जिऑलॉजिकल सर्व्हे' या संस्थेत अगदी १८९० पूर्वी जे प्रयोग केले होते त्याबाबत लिहिले होते. थोडेसे थोरिअम तसेच युरेनिअमची काही खनिजे (उदा. क्लिव्हेइट, इ.) तापविण्यामुळे त्यामधून रासायनिकदृष्टचा अक्रियाशील असा एक वायु बाहेर पडल्याचे हिल्डेब्रँडने पाहिले. त्याचा वर्णपट नायट्रोजनच्या वर्णपटाशी जुळणारा होता व त्यामध्ये इतरही काही रेषा आढळल्या.

पुढे हिल्डेब्रँड यांनी रॅम्से यांना सांगितले की या नव्या रेषांचा संबंध एका नव्या मूलद्रव्याशी जोडावा असा मोह त्यांना पडला होता. तथापि हिल्डेब्रँडच्या सहकाऱ्यांना, मिळालेल्या निष्कर्षांबाबत खात्री नव्हती आणि मग हिल्डेब्रँड यांनी आपले प्रयोगही थांबविले. के. मिअर्सना मात्र, नैसर्गिक युरेनेट संयुगातील नायट्रोजनच्या अस्तित्वाच्या अनेक उदाहरणांवरून असे वाटले की याबाबत आणखी प्रयोग होणे जरूरी आहे.

हिल्डेब्रँडचा अक्रियाशील वायू म्हणजे अर्‌गॉन असणे शक्य आहे असे रॅम्से यांना साहजिकच वाटले. मिअर्सच्या म्हणण्याशी ते सहमत झाले आणि ५ फेब्रुवारीस त्यांनी क्लिव्हइटचा अल्पसा नमुना मिळविला. तथापि, स्वतः रॅम्से हे अर्‌गॉहैच्या अभ्यासात गर्क होते, म्हणून त्यांनी आपल्या शिष्यास, जे. मॅथ्यूज यास जरूर ते प्रयोग करण्यास सांगितले. त्यानुसार मॅथ्यूजने सल्फ्यूरिक आम्ल व खनिज यांच्यात प्रक्रिया घडवून आणली. हिल्डेब्रँड-प्रमाणेच त्याला नायट्रोजनसदृश वायूचे बुडबुडे पहावयास मिळाले.

जरूर तेवढ्या प्रमाणात हा वायू जमल्यानंतर रॅम्से यांनी १४ मार्च रोजी त्याचे वर्णपटीय विश्लेषण केले. ते फारच अनपेक्षित ठरले. वर्णपटात

जो उजळरंगी पट्टा मिळाला त्याच्या रेषा नायट्रोजन व अर्गॉन यांच्या वर्णपटात आढळल्या नाहीत. ८

निश्चित अनुमान काढण्याइतपत जरी रॅम्से यांच्याजवळ पुरेशी माहिती उपलब्ध नव्हती तरीही त्यांनी अनुमान काढले की क्लिव्हाइटमध्ये अर्गॉनसह आणखी एक अज्ञात वायू आहे. प्रयोगार्थ हा वायू जास्तीत जास्त शुद्ध स्वरूपात मिळविण्यासाठी रॅम्से यांनी पुरा आठवडा खर्ची घातला. २२ मार्च रोजी बी. ब्रॉनरच्या समवेत रॅम्सेंनी अर्गॉन व त्या अज्ञात वायूचे वर्णपट पडताळून पाहिले. रॅम्से यांनी त्या अज्ञात वायूस "क्रिप्टॉन" (म्हणजे ग्रीक भाषेत "गुपित") असे तात्पुरते नावही दिले. पुढे हे नाव दुसऱ्या एका अक्रियाशील वायूस दिले गेले. मार्च २३ रोजी रॅम्से यांनी आपल्या दैनंदिनीत लिहिले की "क्रिप्टॉन"ची ही तेजस्वी पिवळ्या रंगाची रेषा सोडिअमनिदर्शक तर नाहीच पण ती आर्गॉनच्या वर्णपटातही दिसली नाही (त्यावेळी, D_3 ही सौर–हेलिअमची रेषा म्हणजे सोडिअमची तेजस्वी पिवळी रेषा नव्हे हे सिद्ध करणे जरूरी होते. इतिहासाची पुनरावृत्ती पहावयास मिळते ती अशी!'

आपल्या निष्कर्षाबद्दल खात्री न वाटल्यामुळे रॅम्सेंनी या वायूने भरलेली एक कुपी डब्ल्यु. क्रुक्सकडे पाठविली. एका दिवसाने क्रुक्सकडून आलेल्या तारेत म्हटले होते: "क्रिप्टॉन म्हणजे हेलिअम आहे, ५८७.४९; या आणि पहा." ५८७.४९ ही संख्या म्हणजे एका खास प्रकारे अंशपरीक्षण केलेल्या प्रमाणपट्टीवरील सौर-हेलिअमची तरंग–लांबी होय. हेलिअमचे पृथ्वीवरील अस्तित्व निश्चित करण्यासाठी ही माहिती जरी उपयोगी ठरली तरी त्याचा शोध स्वतंत्रपणेच लावला गेला.

आता हेलिअम कल्पित मूलद्रव्य उरले नव्हते, त्यामुळे शास्त्रज्ञांना त्याचा सर्वांगीण अभ्यास करणे शक्य झाले. हेलिअमच्या अगदी पूर्णतया रासायनिक निष्क्रियतेबाबत संशय नव्हता. त्यावेळेपावेतो तशीच निष्क्रियता असणारा अर्गॉन माहीत झाला होताच (१८९४).

पृथ्वीवरील हेलिअमच्या शोधाबाबतचे लघुवृत्त २९ मार्च १८९५ च्या क्रुक्ससंपादित 'केमिकल न्यूज'मध्ये प्रथमतःच प्रसिद्ध झाले. एक मोठी मनोरंजक हकीकत अशी की जवळजवळ एकाच वेळी स्विडिश शास्त्रज्ञ पी. क्लीव्ह (ज्याच्या सन्मानार्थ खनिजास नाव दिले गेले) व त्याचा सहाय्यक ए. लँग्लेट यांनीही क्लिव्हाइटमध्ये भूस्थित हेलिअमचा शोध लावला. तथापि

त्यांचे प्रयोग थोडे उशिरा केले गेले आणि कोणत्याच प्रकारे त्यांना जनकत्वाचा हक्क सांगता आला नाही.

भूस्थित हेलिअमला पूर्ण मान्यता मिळाली आणि रॅम्सेंच्या निष्कर्षांना खोटे पाडण्याचा प्रयत्न कोणीही केला नाही. थोड्याशा कालावधीनंतर इतर खनिजात व खनिज-झऱ्यांच्या पाण्यातही हेलिअम आढळले. पुढे १८९६ मध्ये पृथ्वीच्या वातावरणात – हेलिअम सापडला.

आर्गॉन

"१८८५ मध्ये एच्. कॅव्हेंडिशने निष्क्रिय वायूंचे शोध लावले" असे विधान जर तुमच्या पाहण्यात आले, तर तो एक मोठा विनोदच समजाल. पण ते कितीही विरोधाभासी वाटो, ते मूलतः अगदी खरेच आहे. चूक आहे ती फक्त "शोध लावले" हा शब्दप्रयोग वापरण्यात. ज्याप्रमाणे आर. बॉयलने १६६० मध्ये किंवा एम. व्ही. लोमोनोसोवने १७४५ मध्ये हायड्रोजनचा शोध लावला असे म्हणण्यात एखाद्याची जेवढी चूक नाही, तेवढीच वरील विधान करण्यातही नाही. आपल्या प्रयोगांमध्ये कॅव्हेंडिशने "कशाचे तरी" निरीक्षण केले व त्याचे स्वरूप पुढे शंभर वर्षांनी स्पष्ट झाले. आपल्या प्रयोगशालेय नोंदवहीत कॅव्हेंडिश लिहितो की नायट्रोजन व अधिक प्रमाणातील ऑक्सिजन यांच्या मिश्रणातून विद्युत्ठिणगी सोडली असता त्यास अगदी अल्प म्हणजे मूल मिश्रणाच्या आकारमानाच्या $\frac{१}{१२५}$ एवढा उर्वरित भाग मिळाला. या गूढ वायुरूप भागात नंतर सोडलेल्या विद्युतप्रवाहामुळेही कोणताच बदल झाला नाही. उघडच होते की त्यामध्ये अक्रियाशील वायूचे काही प्रमाण होते, पण कॅव्हेंडिशच्या ते ध्यानातही आले नाही किंवा तो काही खुलासाही करू शकला नाही.

या सुप्रसिद्ध भौतिकशास्त्रज्ञाचे हे प्रयोग, त्याचा आत्मचरित्रकार एच. विल्सन याने 'हेन्री कॅव्हेंडिश यांचे जीवनचरित्र' (१८४९) या आपल्या पुस्तकात विशद केले आहेत. १९ व्या शतकातील आठव्या दशकाच्या सुरुवातीस रॅम्से यांनी प्लॅटिनम उत्प्रेरकासह नायट्रोजनच्या हायड्रोजन व ऑक्सिजनबरोबर होणाऱ्या अभिक्रिया अभ्यासिल्या होत्या. यातून निष्पन्न असे काहीच झाले नाही व रॅम्सेंनी आपले निष्कर्षही प्रसिद्ध केले नाहीत. त्यांच्या आठवणीनुसार त्यांना स्मरते की विल्सनचे पुस्तक त्यांनी नुकतेच वाचले होते व त्यातील कॅव्हेंडिशच्या प्रयोगांबाबत जो मजकूर होता त्यावर

खुण करून "लक्षात घेणे" असा शेराही मारला होता. एवढेच नव्हे तर सी. विल्यम्स या आपल्या मदतनीसास कॅव्हेंडिशचे प्रयोग पुन्हा करून पहावेत म्हणूनही सांगितले होते, पण त्याच्या कामाबाबत किंवा त्यास मिळालेल्या निष्कर्षांबाबत आज काहीच माहिती नाही. बहुधा, काहीच निष्पन्न झाले नसावे पण ही गोष्ट रॅम्से काही विसरू शकले नाहीत (त्यांनीच म्हटल्याप्रमाणे "सुप्त स्मरणशक्ती" विसरली नाही) आणि अर्गॉनच्या पूर्वेतिहासात तिने आपले थोडेफार काम बजावले आहे. त्यामध्ये सुरुवातीस जे. रॅले यांचा प्रमुख भाग होता आणि पुढे अणु – व रेणुविषयक विचारप्रणालीच्या (सिद्धान्ताच्या) विकासाची पार्श्वभूमी त्याला मिळाली. हा सिद्धान्त प्रस्थापित करण्यास अणु-वस्तुमानांक निर्देशित करणे अत्यावश्यक होते. अनेक प्रयोगांतून असे निष्पन्न झाले की बहुसंख्य उदाहरणात अणु-वस्तुमानांक हे पूर्णांकात नाहीत. मध्यंतरी, फारपूर्वी, म्हणजे १८१५-१६ मध्येच, डब्ल्यु. प्राऊट याने निसर्ग-शास्त्रांमध्ये जणु "मैलाचा दगड" ठरावा असे गृहीतक मांडले. ते असे सांगते की सर्व रासायनिक मूलद्रव्यांच्या अणूंमध्ये हायड्रोजन अणु असतात. त्यानुसार अणु-वस्तुमानांक हे पूर्णांकातच असावयास हवे होते. तर मग, एक प्राऊट तरी चूक असावा किंवा अणु-वस्तुमानांक तरी चुकीचे ठरविले गेले असावेत.

ही विसंगती दूर करण्यासाठी वायूंचे घटक आणि स्वरूप याबाबत नव्याने अभ्यास होणे जरूरी होते. रॅले यांच्या मते सर्वप्रथम, वातावरणातील प्रमुख वायूंची म्हणजे ऑक्सिजन व नायट्रोजन यांची घनता ठरविणे आवश्यक होते कारण त्यायोगे त्यांचे अणु-वस्तुमानांक ठरविता आले असते.

२९ सप्टेंबर १८९२ रोजी रॅले यांनी नेचर या मान्यवर इंग्रजी मासिकात एक छोटासा लेख प्रसिद्ध केला. एका किरकोळ बाबीवर हा लेख आहे असेच वाटण्याची शक्यता आहे. वातावरणातील अलग केलेल्या नायट्रोजनची घनता आणि तप्त तांब्याच्या तारेवरून हवा आणि अमोनिया यांचे मिश्रण नेले असता मिळणाऱ्या नायट्रोजनची घनता यात फरक पडत होता. हा फरक किती तर ०.००१ एवढा किरकोळ, पण प्रायोगिक चुकीमुळे तसे होत असावे असे समर्थन करता येईना. वातावरणीय नायट्रोजन वजनदार ठरत होता. इतर कोणत्याही रासायनिक पद्धतीने तयार करण्यात येणारा नायट्रोजन ठराविक मूल्याने नेहमीच हलका असे.

या विसंगतीचे कोणते कारण असावे? ही समस्या रॅम्सेंना फार कुतुहल-जनक वाटली. १९ एप्रिल १८९४ रोजी त्यांची रॅलेंशी गाठ पडली व याबाबत चर्चा झाली. तथापि, आपापल्या मतांबाबत प्रत्येकजण आग्रही होता. रॅम्सेंचा विश्वास होता की वातावरणीय नायट्रोजनमध्ये वजनदार अशा वायूची भेसळ असावी तर रॅलेंची ठाम समजूत झाली होती की या विसंगतीस "रासायनिक" नायट्रोजनमध्ये होणारी हलक्या वायूची भेसळ जबाबदार आहे.

रॅले यांचा दृष्टिकोन अधिक लक्षवेधक होता. हे तर खरेच होते की वातावरणाच्या घटनेचा शंभर वर्षांपेक्षा अधिक काळ अगदी पुरतेपणे अभ्यास झाला होता. त्यामुळे हवेचा एखादा घटक ध्यानात येण्याचे राहिले असेल अशी शक्यताच वाटत नव्हती. नेमके याच वेळी कॅव्हेंडिशचे प्रयोग आठवले नसते तरच नवल, आणि रॅम्सेंच्या "सुप्त स्मरणशक्ती"ने आपले काम बजावलेही. २९ एप्रिल रोजी रॅम्सेंनी आपल्या पत्नीस जे पत्र पाठविले त्यात ते म्हणतात की नायट्रोजनमध्ये बहुधा एखादा निष्क्रिय वायू येत असावा, ज्याच्याकडे त्यांचे लक्ष वेधले नसावे. नायट्रोजन आणि मॅग्नेशिअम यांचा संयोग घडवून त्यांच्या अभिक्रियेतून काय उरते ते ठरविण्याचा विल्यम्सचा प्रयत्न चालू आहे. "कदाचित आम्ही एखादे नवे मूलद्रव्यही शोधून काढू..."

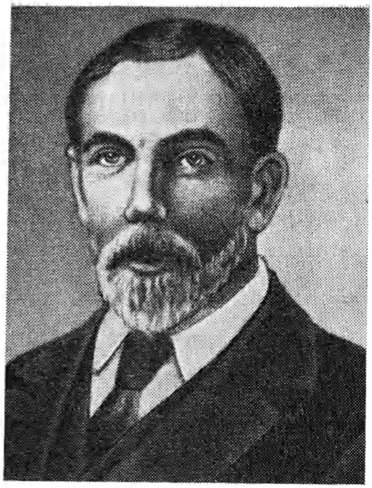
पत्रामध्ये आत्मविश्वास चांगलाच डोकावतो: एक अज्ञात वायू जे नवे मूलद्रव्य आहे; नायट्रोजनप्रमाणे तेही अक्रियाशील म्हणजे रासायनिक प्रक्रियांमध्ये अगदी क्वचित भाग घेणारे. या "नवख्यास" नायट्रोजनपासून वेगळे करण्यासाठी नायट्रोजनला रासायनिकरित्या संयोगित करण्याचे ठरविले गेले. त्यासाठी रॅम्सेंनी नायट्रोजन व तप्त लाल मॅग्नेशिअम तुकड्यांमध्ये अभिक्रिया करण्याचे ($3Mg + N_2 = Mg_3N_2$) ठरविले. निष्क्रिय वायूंच्या शोधकामात रसायनशास्त्राने आपली भूमिका बजाविल्याचे हेच काय ते एकुलतेएक उदाहरण होय.

वादविवादात्मक पद्धतीचा आश्रय घेऊन रॅम्सेंनी असा पक्ष घेतला की अज्ञात वायू हे नवे मूलद्रव्य नसेलच मुळी, तर तीन अणु असणारे नायट्रोजनचेच एखादे अपरूप (N_3) कशावरून नसावे? (उदा. O_2 रेणु–ऑक्सिजन व O_3 ओझोन, यासारखे) मॅग्नेशिअमसह होणारे नायट्रोजनचे शोषण यासमवेत N_2 रेणूंचे विघटन होणारच व त्यायोगे मोकळे होणारे N

हे नायट्रोजनचे एकेकटे अणु N_2 त मिळविले जाऊन N_3 तयार होणार. रॅम्सेंचे हे असे तर्कशास्त्र होते व त्यानुसार वातावरणात N_3 चे अस्तित्व असणारच असा त्यांचा कयास होता. अर्‌गॉनच्या विरोधकाच्या हातात मात्र N_3 च्या रूपाने एक हुकमी पत्ताच मिळाला. ओझोनसदृश नायट्रोजन मिळविण्याचे निष्फळ प्रयत्न दोनतीन महिन्यांपेक्षा अधिक काळ चालू होते आणि ३ ऑगस्ट रोजी रॅम्से यांच्यापाशी १०० घन सें. मी. वायू तयार झाला. तो १९.०८६ घनतेचा नायट्रोजन वायू होता.

या शास्त्रज्ञाने आपल्या यशाचे वृत्त क्रुक्स व रॅले यांना कळविले. वर्णपटीय अभ्यासार्थ त्यांनी या वायूची एक कुपीही क्रुक्सना पाठविली. रॅलेनी स्वतःच या वायूचा अल्पसा भाग मिळविला. ऑगस्टच्या मध्यास रॅम्से व रॅले एका शास्त्रीय सभेत भेटले व दोघांनी मिळून एकत्रित अहवाल सभेस सादर केला. या वायूचा वर्णपट त्यांनी विशद केला आणि त्याच्या रासायनिक निष्क्रियतेबाबत खास लक्ष वेधले. अनेक शास्त्रज्ञांनी मोठ्या कुतुहलाने हा अहवाल लक्षपूर्वक ऐकला पण त्यांनी आश्चर्यच व्यक्त केले : हवेमध्ये एक नवा घटक सामावलेला असणे शक्य तरी आहे का? नामवंत भौतिकशास्त्रज्ञ ओ. लॉज यांनी खवचटपणे असाही प्रश्न केला : "महाशय, तुम्ही या नव्या वायूच्या नावाचाही शोध लावला नाही का?"

हा नाव देण्याचा प्रश्न नोव्हेंबरच्या सुरुवातीस सोडविला गेला. रॅम्सेंनी रॅलेना अर्‌गॉन ("निष्क्रिय" या अर्थी ग्रीक शब्दावरून) हे नाव, त्याची अद्वितीय रासायनिक निष्क्रियता लक्षात घेऊन सुचविले व A हे चिन्ह त्यास दिले (पुढे ते Ar असे झाले). नोव्हेंबर ३० रोजी रॉयल सोसायटीचे अध्यक्ष लॉर्ड केल्व्हिन (१८७१ मध्ये प्रथमतःच "हेलिअम" या नावाचा वापर करणारे डब्ल्यु. थॉम्‌सन) यांनी जाहीररित्या सांगितले की वातावरणाच्या एका नव्या घटकाचा शोध ही या वर्षाची सर्वश्रेष्ठ शास्त्रीय घटना आहे. या घटकाचे स्वरूप मात्र स्पष्ट नव्हते. ते रासायनिक मूलद्रव्य आहे काय? डी. आय. मेंदेल्येव आणि द्रवरूप हवा ठेवण्यासाठी "देवार पात्र" शोधून काढणारा जे. देवार यांच्यासारख्या मुरब्बी लोकांचा असाच विश्वास होता की आर्‌गॉन म्हणजे N_3 च आहे. अगदी परिपूर्ण स्वरूपाची रासायनिक निष्क्रियता हा जो आर्‌गॉनबाबतचा गुणधर्म शास्त्रज्ञांना पहावयास मिळाला तो अपूर्व होता त्यामुळे या वायूचे गुणधर्म अभ्यासिणे (विशेषतः त्याचा अणु-वस्तुमानांक ठरविणे) फार अवघड ठरले. त्याचप्रमाणे असेही स्पष्ट



डब्ल्यु. रॅम्से

झाले की आर्‌गॉन इतर मूलद्रव्यात्मक वायूंपेक्षा वेगळा म्हणजे एकअणुस्वरूपी – त्याच्या रेणूमध्ये एक अणु – आहे.

१४ मार्च १८९५ रोजी "रशियन केमिकल सोसायटी"ची सभा भरली असता तेथे मेंदेल्येवनी असे जाहीर केले की ४० हा जो अर्‌गॉनचा अणु-वस्तुमानांक आहे तो आवर्ती पद्धतीत बसत नाही, म्हणून आर्‌गॉन म्हणजे संघनित नायट्रोजन, N_3 होय.

एकंदरीत, आर्‌गॉनच्या शोधामुळे बरेच प्रश्न उभे राहिले आणि ते सोडविण्यात बराच वेळ गेला. हेलिअमच्या शोधानेही या कामात थोडाफार हातभार लावला कारण हा वायूही निष्क्रिय आणि एकाणु स्वरूपी असल्याचे निष्पन्न झाले होते. अर्‌गॉन – हेलिअम या जोडीने असे मात्र दाखवून दिले की असे वायू असणे ही एक क्रमप्राप्त किंवा स्वाभाविक वस्तुस्थिती असून केवळ योगायोगाचा प्रकार नाही. या कुटुंबियांपैकी आणखी काही आढळण्याची जर कुणी अपेक्षा केली तर ती अवास्तव म्हणता येणार नाही. अर्थात तीन वर्षांपावेतो तरी तसे काही झाले नाही. मध्यंतरीच्या काळात हेलिअम आणि अर्‌गॉन यांचे गुणधर्म बारकाईने अभ्यासिले गेले त्यांचे अणु-वस्तुमानांक अगदी काटेकोरपणे निश्चित केले गेले तसेच, आवर्ती कोष्टकात त्यांना कुठे बसवावे याबाबत विचार मांडले गेले.

क्रिप्टॉन, निऑन आणि झेनॉन

निष्क्रिय वायूंच्या इतिहासात आता एक 'निष्क्रिय' कालखंड सुरू झाला. त्यास अनेक कारणे होती. त्यापैकी एक असे की शास्त्रज्ञांना अगदी अल्पशा प्रमाणातील आर्‌गॉन व हेलिअम प्रयोगार्थ उपलब्ध होत असे. हे वायू हवेपासून वेगळे करण्यासाठी त्यांना रासायनिकदृष्टचा ऑक्सिजन, नायट्रोजन, हायड्रोजन व कार्बन डायॉक्साइड वेगळे करणे भाग होते. सर्व अक्रियाशील वायूंचे वातावरणातील प्रमाण अगदी क्षुल्लक तर असतेच पण आर्‌गॉन आणि हेलिअमच्या पार्श्वभूमीवर नगण्य प्रमाणात असणाऱ्या इतरांना शोधून काढणे ही एक वेगळीच समस्या होती. आणखी एक डोकेदुखी म्हणजे अर्‌गॉन व हेलिअमची रासायनिक निष्क्रियता ही होय. नवल असे की अत्यंत परिणामकारक अभिकारकाची सुद्धा (उदा. फ्ल्युओराइन) मात्रा चालत नसे. या निष्क्रिय वायूंचा अभ्यास करण्यास रसायनज्ञांना मार्गच दिसत नव्हता, फक्त भौतिकशास्त्रीय पद्धतींमार्गे काही शक्य होण्याची आशा होती. त्यासाठी परिणामकारक पद्धतींची आवश्यकता होती आणि या सुप्तकाळात तशा विकसितही केल्या गेल्या. शास्त्रज्ञांनी अगदी अल्पशा प्रमाणातील वायूंचे विश्लेषण करू शकणाऱ्या प्रायोगिक तंत्रांचा विकास केला, वर्णपटदर्शकांमध्ये आणि वायूंच्या घनता ठरविण्याच्या पद्धतींमध्ये परिपूर्णता आणली. अशा परिस्थितीत, अक्रियाशील वायूंच्या इतिहासाच्या दृष्टीने अत्यंत महत्त्वाची अशी घटना घडली. यु. हॅम्प्सन व जी. लिंड या, अनुक्रमे इंग्लंड व जर्मनीतील दोघा इंजिनियरांनी वायूंच्या द्रवीभवनाची एक अत्यंत परिणामकारक पद्धत शोधून काढली. ताशी एक लिटर द्रवरूप हवा मिळेल असे उपकरण हॅम्प्सनने उभारले. या यशामुळे प्रभावित होऊन शास्त्रज्ञांच्या कल्पकतेस मोठीच चालना मिळाली. १८९८ च्या सुरुवातीस एम. ट्रॅव्हर्स या रॅम्सेंच्या सहाय्यकाने मोठ्या प्रमाणात द्रवरूप अर्‌गॉन तयार करण्याच्या दृष्टीने एक प्रशीतन (थंडावा निर्माण करणारे) उपकरण उभारण्यासाठी प्रयत्न सुरू केले. वातावरणीय वायु वेगवेगळ्या तपमानास द्रवीभूत होत असल्यामुळे ते एकमेकांपासून वेगळे करणे अगदी शक्य होते.

आणखी एका दृष्टीने आर्‌गॉन-हेलिअमचे शोध मोठे वैशिष्टचपूर्ण ठरतात. या शोधांमुळे केवळ रासायनिक निष्क्रियतेच्या (जो आविष्कार पुढे जवळजवळ पाव शतकानंतर समजला) स्वरूपाबद्दलच रसायनज्ञ विचार करू

लागले असे नाही तर गंभीर आक्षेपांच्या वावटळीत सापडलेल्या आवर्ती नियम व पद्धतीबाबतही ते अंतर्मुख झाले. अर्गॉन व हेलिअमच्या तीन अत्यंत महत्त्वाच्या वैशिष्टयांमुळे (अणु-वस्तुमानांक, शून्य संयुजा व एक-अणुयुक्त रेणु) या दोन वायूंना आवर्ती पद्धतीबाहेर ठेवले जात होते. यामुळेच सोयीस्कर अशा N_3 विचाराकडे मेंदेल्येव एवढ्या सहजपणे आकर्षित झाले!

इतिहासही कधी कधी भविष्यकाळाच्या पडद्याआड डोकावतो हेच खरे. अर्गॉन पूर्णपणे शोधला गेलेला नसताच रॅम्से यांनी २४ मे १८९४ रोजी रॅलेना एका पत्राद्वारे विचारणा केली की "आवर्ती कोष्टकात वायुरूप मूल-द्रव्यांना खरोखरीच काही जागा आहे असा विचार कधी तुमच्या मनात डोकावला होता का?" उदाहरणार्थ

Li Be B C N O F X X X
Cl
Mn Fe Co Ni
Br
? Rd Ru Pd...

रॅम्सेंनी असा विचार केला की बृहद आवर्तामध्ये लोह व प्लॅटिनम धातूंची जशी त्रिकूटे आहेत तद्वतच या पद्धतीच्या लघु आवर्तातही मूलद्रव्यांचे एखादे त्रिकूट असणे अशक्य नाही. आर्गॉन व हेलिअमच्या शोधांमुळे असा विचार प्रबळ होऊ लागला की रॅम्सेंच्या आलेखातील दोन X च्या जागा हे वायू घेऊ शकतील. पण या दोन वायूंच्या अणु-वस्तुमानांकामुळे (अनुक्रमे ४ व ४०) एकाच आवर्तात अर्गॉनला व हेलिअमलाही ठेवणे अतिशय अवघड होऊन बसले. हळूहळू त्रिकूटाची कल्पना मागे पडली आणि रॅम्सेंनी सुचविले की प्रत्येक आवर्ताच्या शेवटी हे अक्रियाशील वायू ठेवावेत. तशा परिस्थि-तीत, २० अणु-वस्तुमानांक असणाऱ्या व हेलिअम-आर्गॉनच्या मधल्या, अशा एखाद्या मूलद्रव्याच्या शोधाची कुणी अपेक्षा केल्यास चूक ठरणार नाही. टोरोंटो येथे, १८९७ च्या ऑगस्टमध्ये भरलेल्या ब्रिटिश असोसिएशन-च्या सत्रात सादर केलेला रॅम्सेंचा निबंध नेमका याच एका मूलद्रव्यास वाहिलेला होता. या अनुमानित वायूच्या वैशिष्टयपूर्ण गुणधर्मांचे विवेचन करावे असे रॅम्सेंना फार वाटत होते पण तसे करणे शहाणपणाचे ठरणार नाही असे त्यांनी ठरविले. त्यांना अभिप्रेत असलेल्या वायूचा शोध अद्यापी लागावयाचा होता!

आणि येथे आपणास, रॅम्सेंनी आरगॉनच्या पूर्वकाली आपल्या पत्नीस लिहिलेल्या पत्रातील आत्मविश्वास पहावयास मिळतो. पण यावेळी ती कल्पनाविलासाची धिटाई नव्हती तर अनुभव आणि आत्मविश्वास यांचा परिपाक होता. हा न शोधलेला वायु निऑन असल्याचे निष्पन्न झाले. नशिबाच्या लहरीपणामुळे (विज्ञानक्षेत्रात तो नेहमीच पहावयास मिळतो) या शोधाआधी एक घटना घडली. ह्या नव्या वायूचा शोध, द्रवरूप वायूच्या क्रमवार बाष्पीभवनातून आणि उर्वरित भागांच्या विश्लेषणातून सहजच लावला गेला असता. विशेषत: अर्गॉनपेक्षा जे हलके होते त्यात विशेष स्वारस्य होते. २४ मे १८९८ रोजी रॅम्से आणि ट्रॅव्हर्स यांना द्रवरूप हवा असलेले देवारचे पात्र (फ्लास्क) मिळाले. दुर्दैवाने (किंवा, खरे तर सुदैवाने) त्यातील हवेचा अंश, अर्गॉनच्या आधीच्या वायूचा शोध घेण्याइतपत पुरेसा नव्हता. तेव्हा त्या शास्त्रज्ञांनी ठरविले की द्रवरूप हवेच्या प्रभाजनाच्या कार्यपद्धतीत परिपूर्णता आणण्यासाठी त्याचा वापर करावा. सबंध दिवस खर्चून रॅम्से व ट्रॅव्हर्स यांनी ते काम केलेही आणि दिवसअखेरीस त्यांना उर्वरित भाग हा अत्यधिक वजनदार असल्याचे ध्यानात आले.

सुमारे एक आठवडापावेतो त्या उर्वरित भागाकडे दुर्लक्षच झाले आणि ३१ मे रोजी तो तपासून पाहण्याचे रॅम्सेंनी ठरविले. त्यातील नायट्रोजनची संभाव्य अशुद्धता दूर करून त्याची वर्णपटीय तपासणी केली गेली. तेव्हा वर्णपटात आढळलेली उज्ज्वल अशी पिवळया रंगातील रेषा पाहून रॅम्से व ट्रॅव्हर्स कमालीचे गोंधळात पडले, कारण ती रेषा हेलिअम किंवा निऑन यांची निदर्शक मुळीच नव्हती. आपल्या रोजनिशीत रॅम्से लिहितात: "३१ मे. एक नवा वायू. क्रिप्टॉन." न शोधल्या गेलेल्या हेलिअमला पूर्वी हे नाव दिले असल्याचे आपणास आठवत असेलच. आता मात्र निष्क्रिय वायूंच्या इतिहासात या नावास जागा मिळाली. पण ज्या वायूबद्दल रॅम्सेंनी अहवाल दिला होता तो मात्र क्रिप्टॉन नव्हता. त्याची घनता आणि अणु-वस्तुमानांक भाकित केलेल्या वायूपेक्षा अधिक होती.

यानंतर निऑनचा शोध लागलीच लागला. रॅम्से व ट्रॅव्हर्स यांनी हवेच्या ऊर्ध्वपातनातून मिळालेल्या भागांमधले हलके भाग निवडले आणि त्यापैकी एकामध्ये, एका नव्या अक्रियाशील वायूचा शोध लावला. रॅम्सेंना नंतर आठवले की "निऑन" (ग्रीक शब्द निऑस म्हणजे "नवा" यावरून) हे नाव त्यांच्या बारा वर्षाच्या मुलाने सुचविले होते. या वायूच्या बाबतीत

प्रायोगिक काम, रॅम्से परगावी असल्यामुळे, ट्रॅव्हर्स यांनी केले. तो दिवस होता ७ जून. त्यानंतर निष्कर्षाबाबत खात्री करून घेण्यात, जादा प्रमाणात निऑन मिळविण्यात आणि त्याची घनता ठरविण्यात पुरा आठवडा खर्ची पडला. अपेक्षेनुसारच हेलिअम व आर्गॉन यांच्या मधोमध निऑन बसत होता, मात्र अद्यापी तो शुद्धावस्थेत अलग केला गेला नव्हता. निऑन आणि आर्गॉन पूर्णतया वेगळे करण्याची समस्या पुढे कालान्तराने सोडविली गेली.

रॅम्से आणि ट्रॅव्हर्स यांच्यामार्फत आणखी एका निष्क्रिय वायूचा शोध लागावयाचा होता. या शास्त्रज्ञांना, निऑनच्या बाबतीत जशी खात्री वाटत होती तशी यावेळी वाटत नव्हती. १८९८ च्या जुलैमध्ये हे शास्त्रज्ञ द्रवरूप हवेचे ऊर्ध्वपातन करण्यात व त्यातील भाग वेगवेगळे करण्यात गर्क होते. मध्यरात्रीपर्यंत त्यांनी ५० हून अधिक भाग अलग केले आणि शेवटच्या (५६ क्रमांकाच्या) भागात क्रिप्टॉनचा शोध घेतला. त्यानंतर उपकरण परत एकदा तापविले तेव्हा त्यांना अंशरूपात असणाऱ्या कार्बन डायॉक्साइड-सह आणखी एक भाग (क्र. ५७) जमविता आला. त्याच्या अभ्यासाच्या निकडीबाबत रॅम्से व ट्रॅव्हर्स यांनी बराच विचार केला व अखेर हे काम चालू ठेवावे असा निर्णय घेतला. दुसऱ्या दिवशी सकाळी या ५७ क्रमांकाच्या भागाची वर्णपटीय तपासणी केली, आणि तो अतिशय वेगळ्या प्रकारचा आढळला, ते दोघेही एकाच निष्कर्षाप्रत आले की एक नवाच वायू त्यामुळे सूचित होत आहे. तथापि हा नवा वायू ऊर्फ झेनॉन शुद्ध स्वरूपात, १९०० च्या मध्यावधीस तयार करणे शक्य झाले. झेनॉन हे नाव झेनॉस म्हणजे "अपरिचित" किंवा "नवखा" या ग्रीक शब्दावरून तयार झाले.

निष्क्रिय वायु – एक वैचारिक खाद्य

१९ व्या शतकाच्या अखेरीस ज्या चार महान शोधांनी नैसर्गिक विज्ञान-क्षेत्रात क्रांतिकारक बदल घडवून आणले त्यापैकी निष्क्रिय वायूंचा शोध हा एक समजला जातो. इतर तीन शोध म्हणजे रॉंटजेनचे क्ष-किरण, किरणोत्सरण ऊर्फ रेडिओ ॲक्टिव्हिटी आणि इलेक्ट्रॉन हे होत. निष्क्रिय वायूंना शास्त्रज्ञांनी हे एवढे महत्त्व देण्यामागे अनेक कारणे आहेत.

एक तर त्यांचा इतिहासच मुळी मोठा रंगतदार आणि उत्सुकता निर्माण करणारा आहे. हेलिअमसारखे गूढ असे सौर-मूलद्रव्य पृथ्वीवर शोधले गेले

ही वस्तुस्थिती हेच दर्शविते की निसर्गाचे सखोल व व्यापक ज्ञान होण्यासाठी मानवी बुद्धी केवढी कल्पक आणि कुशाग्र बनू शकते.

हेलिअमपेक्षा किंचितही कमी गूढ नसलेल्या आर्गॉनने शास्त्रज्ञांमध्ये वैचारिक गोंधळाचे चांगलेच बीज पेरले. त्याच्या अतीव रासायनिक निष्क्रियतेमुळे रासायनिक मूलद्रव्य म्हणून – या संज्ञेच्या सर्वसामान्य अर्थानुसार – त्याचे वर्गीकरण करणे अशक्य ठरले कारण त्याचे कोणतेच रासायनिक गुणधर्म प्रकट होईनात. एखादे मूलद्रव्य रासायनिक अभिक्रियेत भाग न घेणारे असू शकते ही कल्पनाच मुळी पटणारी नव्हती पण तिच्याशी हळूहळू एकरूप होण्यावाचून गत्यंतर नाही हे शास्त्रज्ञांना कळून चुकले. ही परिस्थिती अखेरीस फारच फायदेशीर ठरली. कारण, निष्क्रिय वायूंच्या शोधांमुळेच शून्य-संयुजा ही कल्पना विकसित होण्यास मदत झाली. शिवाय, स्वतंत्र अशा शून्य क्रमांकाचा गट तयार करून त्यांनी आवर्ती पद्धतीमध्ये सुसंवाद निर्माण केला. या वायूंच्या शोधानंतर अगदी पंचवीस वर्षांनी नील्स बोर यास त्याचा "अणूंची इलेक्ट्रॉनयुक्त कवचे" हा सिद्धांत प्रस्थापित करण्यास हे शोधच मदतीस आले. त्याचा फायदा असा झाला की निष्क्रिय वायूंच्या रासायनिक निष्क्रियतेचे गूढ उकलले आणि त्यांची अणुविषयक संरचना, आयनिक व सहसंयुज बंधांचा पाया ठरला. अशा प्रकारे सैद्धांतिक रसायनशास्त्राच्या विकासास या अक्रियाशील वायूंच्या शोधांमुळे बहुमोल मदत झाली.

पुढे ६ व्या दशकाच्या सुरुवातीस शास्त्रीय वर्तुळामध्ये या वायूंनी परत एकदा खळबळ निर्माण केली. शास्त्रज्ञांनी असे दाखवून दिले की क्रिप्टॉन व विशेषत: झेनॉनयुक्त रासायनिक संयुगे अस्तित्वात येऊ शकतात. आज अशी सुमारे १५० संयुगे माहीत झाली आहेत. अक्रियाशील वायूंच्या संपूर्ण रासायनिक निष्क्रियतेबद्दल जो कल्पित विश्वास घट्ट मूळ धरून होता त्याला अशा प्रकारे उशिरा का होईना पण जो टोला बसला ते या इतिहासाचे एक विरोधाभासी आणि मोठे मनोरंजक वैशिष्टय ठरले आहे.

पृथ्वीवर आत्यंतिक स्थिरस्वरूपी अशी जी मोटी दुर्मिळ मूलद्रव्ये आहेत त्यामध्ये हे दुर्मिळ वायू मोडतात. रॅम्से यांनी त्याबाबत दिलेली आकडेवारी पुढीलप्रमाणे आहे: आकारमानानुसार पृथ्वीच्या वातावरणीय हवेत दर २४५,००० भागात एक भाग हेलिअम आहे; दर ८१,०००,००० भागात एक भाग निऑन आहे; दर १०६ भागात एक भाग अर्गॉन; २०,०००,

००० भागात एक भाग क्रिप्टॉन आणि दर १७०,०००,००० भागात एक भाग झेनॉन आहे. रॅम्सेंचे हे आकडे तेव्हापासून आजतागायत जवळजवळ तसेच, बदल न होता टिकले आहेत. यावरून असेच नाही का निष्पन्न होत की निष्क्रिय वायूंचे शोध केवढे यातनादायक आणि दुष्कर कर्म होते!

प्रकरण ९ वे

आवर्ती पद्धतीच्या सहाय्याने वर्तविलेली मूलद्रव्ये

"आवर्ती नियमाशिवाय अज्ञात मूलद्रव्याच्या गुणधर्मांचे भाकित करणे किंवा काही गुणधर्मांची कमतरता किंवा अस्तित्वच नाकारणे शक्यच होणार नाही. या आधी मूलद्रव्यांचे शोध म्हणजे केवळ निरीक्षणाचाच सर्वस्वी भाग होता. त्यामुळे कधी योगायोग, कधी कुशाग्र बुद्धी वा दूरदृष्टी यांच्या प्रभावामुळे नव्या मूलद्रव्यांचे शोध लागत गेले. मात्र आवर्ती नियमामुळे यासंबंधी एक नवा मार्ग उपलब्ध झाला." अशा शब्दात डी. आय. मेंदे-ल्येवनी सुचविले की मूलद्रव्यांच्या अस्तित्वाचे आणि त्यांच्या महत्त्वपूर्ण गुणधर्मांचे अगोदरच भाकित करण्याची वेळ आता मूलद्रव्यांच्या इतिहासात येऊन ठेपली आहे.

मूलद्रव्यांचे भाकित वर्तविण्यासाठी आवर्ती प्रणाली हा एक महत्त्वपूर्ण आधार ठरला. केवळ त्याच्या रचनेतूनच जाणीव झाली की कोणत्या "मोकळ्या" जागा भरावयाच्या राहल्या आहेत. आधीच शोध लागलेल्या नजीकच्या मूलद्रव्यामुळे (त्याच्या विविध गुणधर्मांमुळे) त्याच्या शेजारच्या अज्ञात मूलद्रव्याचे गुणधर्म व काही महत्त्वाची परामूल्ये (उदा. अणु-वस्तुमानांक, घनता, वितळण व उत्कलन बिंदू, इ. इ.) तर्कास धरून व साध्यासुध्या गणिती अनुमानांवरून वर्तविणे शक्य झाले. त्याच्या जोडीस उत्कृष्ट दर्जाची रसायनशास्त्रीय जाण अर्थातच अत्यावश्यक होती. अशा प्रकारे दर्जेदार ज्ञान, विज्ञाननिष्ठ निर्भरता आणि आवर्ती नियमावरील दृढ श्रद्धा यांच्या जोरावर मेंदेल्येवनी अनेक नव्या मूलद्रव्यांचे अस्तित्व व त्यांचे गुणधर्म याबाबत मोठी स्तिमित करणारी अचूक भाकिते केली.

मेंदेलेयेवची ही आश्चर्यजनक भविष्यवाणी म्हणजे क्रमिक पुस्तकात दिली जाणारी कायमस्वरूपी उदाहरणे ठरली आणि रसायनशास्त्रावरील असे एकही पुस्तक नसेल की ज्यामध्ये एका-ॲल्युमिनिअम, एका-बोरॉन आणि

एका-सिलिकॉन य।चा उल्लेख नसेल. ह्यांचाच पुढे अनुक्रमे गॅलिअम, स्कॅंडिअम व जर्मानिअम नावांखाली शोध लागला.

सूचित केली गेलेली मूलद्रव्ये, खऱ्याखुऱ्या मूलद्रव्यांशी कशाप्रकारे मिळतीजुळती आढळतात ते पाहणे मोठे मनोरंजक वाटेल.

पुढील कोष्टकातील डावीकडच्या स्तंभात एका-अॅल्युमिनिअम, एका-बोरॉन व एका-सिलिकॉनचे (म्हणजेच सूचित केल्या गेलेल्या मूलद्रव्यांचे) मेंदेलेयेवनी सांगितलेले गुणधर्म दिले असून उजवीकडे गॅलिअम, स्कॅंडिअम, व जर्मानिअम यांबाबत अत्याधुनिक माहिती दिली आहे. सूचित करण्यात आलेली व प्रत्यक्षातील माहिती यातील साम्य एवढे विलक्षण आहे की त्यावर भाष्य करण्याची जरूरीच नाही. "एका" हा जो उपसर्ग वापरला गेला त्याविषयी खुलासा करताना मेंदेल्येव म्हणतात "अपेक्षित मूलद्रव्यांसाठी नवी नावे न वापरता मी त्यांच्यासाठी नजीकच्या सम किंवा विषम क्रमांकाच्या समानधर्मी व त्याच गटातील मूलद्रव्यांची नावे वापरणार असून त्यांना संस्कृत आकड्यांचा उपसर्ग (एक, द्वि, त्रि, चतूर् (थ), इ.) लावणार आहे." (संस्कृत फार पूर्वीच प्रचारातून गेले पण आजच्या आधुनिक भाषांमधले कित्येक शब्द संस्कृत शब्दांपासूनच निर्माण झाले आहेत). यानुसार अॅल्युमिनिअमच्याच गटातील व त्याच्या अगदी नजीकचे पण वर्तविले गेलेले मूलद्रव्य म्हणजे एका-अॅल्युमिनिअम या नावाचे ठरले. तसेच इतरांबाबतही म्हणता येते.

एका-अॅल्युमिनिअम Ea	गॅलिअम Ga
– अणुभार सुमारे ६८	– अणुभार ६९.७२
– शुद्ध प्रतीच्या मूलद्रव्याचा वितळणबिंदु निश्चितपणे कमी असेल	वितळणबिंदु २९.७५ अंश से.
– धातुची घनता ६.० च्या अगदी नजिक असेल	– घनता ५.९
– अणु-आकारमान ११.५ च्या अगदी नजिक असावयास हवे	– अणु-आकारमान, ११.८
– हवेमुळे बदल नाही	– तप्त, लाल तपमानास तापविले असता अल्पसे ऑक्सिडीकरण
– उकळल्यास पाण्याचे विघटन निश्चितपणे अपेक्षित	– उच्च तपमानात पाण्याचे विघटन होते

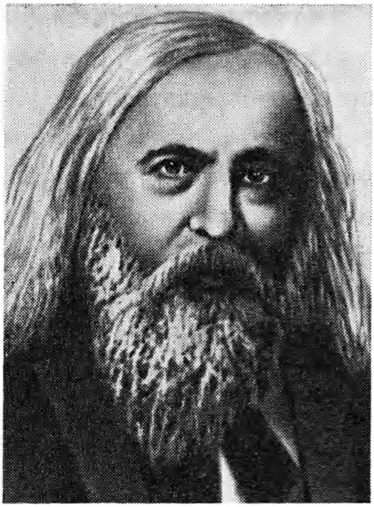
एका – ॲल्युमिनिअम Ea	गॅलिअम Ca
– तुरटीचे प्रकार तयार होतात, पण ॲल्युमिनिअम (Al) एवढे सहजगत्या नाही. – Ea_2O_4 चे धातूत सहजगत्या रूपांतर अगदी शक्य – Ea हे Al पेक्षा अधिक बाष्पनशील. वर्णपटीय विश्लेषणातून त्याचा शोध शक्य.	– $NH_4Ga(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ या सूत्राचे तुरटी- प्रकार तयार होतात – हायड्रोजनच्या झोतात Ga_2O_4 चे निस्तापन केल्यास Ga ची सहज निर्मिती – वर्णपटीय विज्ञान पद्धतीमार्गे Ga चा शोध लावण्यात आला.
एका-बोरॉन, Eb	स्कँडिअम, Sc
– अणु-वस्तुमानांक सुमारे ४४ – घनता सुमारे ३.० – अणु-आकारमान सुमारे १५ – सदरहू धातु अ-बाष्पनशील आणि वर्णपटीय विश्लेषणमार्गे शोधता येणार नाही – अल्कधर्मी ऑक्साइड तयार होईल – उच्च तपमानास पाण्याचे विघटन करेल – Eb_2O_3 पाण्यात अविद्राव्य, घनता सुमारे ३.५ – Eb_2O_3 पासून तुरटी तयार होईल, पण अतिशय दुष्करतेने	– अणु – वस्तुमानांक, ४५.१ – घनता, ३.० – अणु-आकारमान, १५ – बाष्पनशीलता अगदी कमी – अल्कधर्मी ऑक्साइड तयार होते. – उकळले असता पाणी विघटित करते – Sc_2O_3 पाण्यात अविद्राव्य, घनता ३. ८६४ – Sc_2O_3 पुढील सूत्राचे द्विक्षार तयार करते : $3K_2SO_4 \cdot Sc_2(SO_4)_3$
एका-सिलिकॉन, Es	जर्मानिअम, Ge
– अणु-वस्तुमानांक सुमारे ७२ – घनता सुमारे ५.५. असणे शक्य – अणु-आकारमान, सुमारे १३ – EsO_2 ची घनता सुमारे ४.७ – आम्लारिधर्मी गुणधर्म सौम्य	– अणु-वस्तुमानांक, ७२.६० – घनता, ५.३२७ – अणु-आकारमान, १३.५७ – GeO_2 ची घनता, ४.२८० – GeO_2 हे अस्फटिक स्वरूपाचे

एका-सिलिकॉन , Es	जर्मानिअम , Ge
– $EsCl_4$ हे द्रवरूप असेल व त्याचा उकळण-बिंदु सुमारे ९० अंश से. असेल	– GeO_4 हे द्रवरूप आहे ; उकळण-बिंदु, (३ अंश से.
– Es ची ऑक्सिडन न होण्याची प्रवृत्ती कमी	– निम्न ऑक्सिडन स्तरास Ge मोठ्या प्रयासाने जातो
– EsH_4 हे अस्थिर स्वरूपाचे संयुग अस्तित्वात असले पाहिजे	– GeH_4 हे सहजगत्या अपघटन पावणारे संयुग मिळविण्यात आले आहे.
– $Es(C_2H_2)$ हे कार्बन-धात्विक संयुग अस्तित्वात असणे शक्य आहे	– $Ge(C_2H_5)_4$ चे अस्तित्व ज्ञात.

गॅलिअम

गॅलिअमचा शोध अगदी तासामिनिटांमध्ये सांगता येण्याजोगा आहे "शुक्रवार दि. २७ ऑगस्ट १८७५ रोजी दुपारी ३ ते ४ च्या दरम्यान अर्गेल दरी (पिरॅनीज पर्वतराजी) येथील पिअरफिट खाणीत आढळणाऱ्या झिंक ब्लेंडीचे विश्लेषण केले. त्यातून मिळालेल्या दुय्यम उत्पादनात एक नवा साधासुधा पदार्थ असावा असे सूचित करणाऱ्या काही खुणा मला आढळल्या." पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेस पी. इ. लिकॉक द बॉइसबॉड्रन याने अहवाल सादर केला त्याची सुरुवात वरीलप्रमाणे आहे. नव्या मूलद्रव्याचे काही गुणधर्म त्याने विशद केले व पुढे तो म्हणतो की मेंदेल्येयेवनी पाच वर्षांपूर्वी भाकित केल्यानुसार खनिजातील त्याचे अस्तित्व वर्णपटीय विश्लेषणाच्या सहाय्याने नक्की केले. तथापि, बॉइबॉड्रनला या मूलद्रव्याचा फारच थोडा भाग मिळविता आला व त्यामुळे त्याच्या गुणधर्मा-संबंधी तो योग्य प्रकारे अभ्यास करू शकला नाही.

२९ ऑगस्ट रोजी बॉइसबॉड्रनने, फ्रान्सच्या गॉल या प्राचीन नावा-वरून "गॅलिअम" हे नाव त्या नव्या मूलद्रव्यास सुचविले. या शास्त्रज्ञाने नव्या मूलद्रव्यावरील आपले संशोधन पुढे चालूच ठेवले व जी जादा माहिती मिळाली तिचा समावेश पॅरिस ॲकॅडेमीला सादर केलेल्या अहवालात तर केलाच, शिवाय त्यांच्या मुखपत्रासही पाठविला. नोव्हेंबरच्या मध्यास हा



डी. मेंदेलेयेव

लेख असलेला अंक पीटर्सबर्गला पोहोचला व तेथे मेंदेलेयेव त्याची उत्सुकतेने वाटच पहात होते: मेंदेल्येयेवना गॅलिअमचे वृत्त, दुसऱ्यामार्फत का होईना, पण मिळाले होतेच. रशियन केमिकल सोसायटीस दोन आठवड्यांपूर्वीच तत्संबंधी पॅरिसहून अहवाल मिळाला होता व त्यावर पी. द क्लेरमांट याची स्वाक्षरी होती. पण प्रत्यक्ष संशोधकाने काय लिहिले आहे ते वाचणे मेंदेले-येवच्या दृष्टीने अधिक महत्त्वाचे होते.

मेंदेलेयेवने त्वरित प्रतिसाद दिला. १६ नोव्हेंबर रोजी रशियन फिजिकल सोसायटीस त्यानी एक इतिवृत्त पाठविले. सोसायटीच्या कामकाजावरून स्पष्ट लक्षात येते की, हा नवीन धातु बहुधा एका-ॲल्युमिनिअम असणार असे मत मेंदेलेयेवनी दिले होते. दुसऱ्या दिवशी त्यानी फ्रेंच भाषेत "गॅलि-अमच्या शोधाबाबत एक टिपण" हा लेख लिहिला. अखेर १८ नोव्हेंबर रोजी रशियन केमिकल सोसायटीच्या सभेत गॅलिअमवर भाष्य केले. मेंदेलेयेवने एवढी तत्परता व उत्साह का दाखवावा याचे कारण अगदी उघड होते. या महान रसायनशास्त्रज्ञाने ज्या मूलद्रव्याबाबत अगोदरच भाकित केले होते ते खरे ठरण्याची वेळ आली होती. पुढील संशोधनातून एका-ॲल्युमिनिअम

आणि गॅलिअम यांच्या गुणधर्मातील साम्य खरोखरीच सिद्ध झाले तर आवर्ती नियमाच्या अप्रतिम रचनेचे व उपयुक्ततेचे ते एक अपूर्व उदाहरण ठरणार होते. मेंदेलेयेवला तसा विश्वासही वाटत होता.

सहा दिवसांनंतर (खरोखरीच आश्चर्य वाटण्याजोग्या कमी वेळात!) पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसच्या मुखपत्रात "गॅलिअमच्या शोधाबाबत एक टिपण" हा लेख प्रसिद्धही झाला. त्यावरील बॉइसबॉड्रनची प्रतिक्रिया विशेष मनोरंजक ठरते. त्याने आपले संशोधन चालूच ठेवले व नव्या निष्कर्षांना प्रसिद्धी देण्याचे ठरविले. या फ्रेंच शास्त्रज्ञाचा पुढील लेख ६ डिसेंबर रोजी प्रसिद्ध झाला. गॅलिअमच्या आत्यंतिक दुर्मिळतेमुळे निर्माण झालेल्या अडचणी त्याने पूर्वीप्रमाणेच परत एकदा सांगितल्या, विद्युत्-रासायनिक मार्गे हा धातु कसा तयार केला याचेही वर्णन केले आणि काही गुणधर्मांबाबत चर्चा केली. गॅलिअम ऑक्साइडचे Ga_2O_3 असे सूत्र असावयास हवे हे सूचित केले.

लेखाच्या केवळ अखेरीस मेंदेलेयेवच्या टिपणाबाबत केवळ औपचारिक उल्लेख होता. त्यात बॉइसबॉड्रन म्हणतो की मोठ्या कुतूहलाने आपण मेंदेलेयेवचे टिपण वाचले कारण साध्या पदार्थांच्या वर्गीकरणात त्यास दीर्घकाळ स्वारस्य होते. एका-ॲल्युमिनिअमबाबत मेंदेलेयेवने केलेले भाकित त्यास अजिबात ठाऊक नव्हते पण त्यामुळे फारशी अडचण आली नाही. मूलद्रव्यांच्या समानधर्मी रासायनिक गुणधर्मांबाबत वर्णपटीय रेषांचे जे स्वतंत्र नियम आपण ठरविले त्यामुळेच गॅलिअमचा शोध लावणे शक्य झाले असाच बॉइसबॉड्रनचा विश्वास होता. एका-ॲल्युमिनिअमच्या आपल्या भाकितात वर्णपटीय रेषांचे महत्त्व मेंदेलेयेवने सांगितले होते खरे, पण त्याबाबत मात्र एकही शब्द नव्हता! थोडक्यात, बॉइसबॉड्रनच्या मते मेंदेलेयेवच्या भाकिताचा गॅलिअमच्या शोधाशी सुतराम संबंध नव्हता.

तथापि, धातुरूप गॅलिअम व त्याची संयुगे याबाबत बॉइसबॉड्रनचा अभ्यास चालूच होता आणि त्याचे निष्कर्ष मेंदेलेयेवने सुचविलेल्या मूल्यांशी एकापाठोपाठ एक जुळतच होते. उदाहरणार्थ, मे १८७६ मध्ये बॉइसबॉड्रनने दाखवून दिले की गॅलिअम सहजगत्या वितळणारे (त्याचा वितळणबिंदू २९.५ अंश से. आहे), हवेच्या सान्निध्यात काहीच बदल न दर्शविणारे आणि उच्च तपमानास लपवूनही अत्यल्प प्रमाणात ऑक्सिडन पावणारे अशा गुणधर्मांचे आहे. मेंदेलेयेवनी नेमक्या याच गुणधर्मांचे १८७० मध्ये भाकित

केले होते आणि आवर्ती पद्धतीवर व नजिकच्या मूलद्रव्याच्या घनतेवर आधारित ५.९–६.० घनता एका-अॅल्युमिनिअमची असावी असे सूचित केले होते. बॉइसबॉड्रनला मात्र, त्याच्या स्वतःच्या अशा वर्णपटीय रेषाच्या नियमानुसार एका-अॅल्युमिनिअमची घनता ४.७ अशी आढळली व प्रयोगांद्वारे ती बरोबर असल्याचेही त्याने नक्की केले. हा दोनाचा फरक सर्वसामान्य माणसाच्या दृष्टीने फरसा महत्त्वाचा ठरणार नाही पण आवर्ती नियमाच्या भवितव्याची काळजी लागलेल्या व्यक्तीस मात्र त्याचे महत्त्व कल्पनातीत असणार यात संशय नाही. आतापावेतो सूचित झालेल्या गुणधर्मांची गुणवत्ताप्रधान वैशिष्टयच काय ती पडताळून पाहिली गेली आणि घनता हे परिमाणात्मक असे पहिलेच मूल्य होते, पण नेमके तेच चुकीचे ठरले.

याबाबत मोठ्या प्रमाणात प्रचलित असलेले एक वृत्त असे आहे की वरील कमी मूल्याच्या घनतेचा उल्लेख असणारा बॉइसबॉड्रनचा लेख मेंदेलेयेवला पहाण्यास मिळाला. लगेचच त्याने त्या फ्रेंच रसायनज्ञास पत्र लिहून कळविले की हे घनता-मूल्य कमी असून तयार करताना सोडिअम धातूचा जो वापर केला गेला तो बहुधा गॅलिअममध्ये मिसळला गेला असावा व परिणामी गॅलिअमच्या घनतेत घट आली असावी. सोडिअमची आत्यंतिक कमी (०.९८) घनता असते हे सर्वश्रुतच आहे. त्यामुळेच गॅलिअमच्या घनतेतच लक्षणीय घट येणे अगदी शक्य आहे. यावरून, गॅलिअम उत्तमप्रकारे शुद्ध करणे व नंतरच अशा आत्यंतिक शुद्ध प्रतीची घनता ठरविणे हे ओघानेच आले.

पण हे पत्र फ्रान्समध्ये किंवा मेंदेलेयेवच्या संग्रहात सापडत नाही. मात्र मेंदेलेयेवच्या कन्येमार्फत व प्रसिद्ध रसायनशास्त्रीय इतिहासकार बी. मेन्शुटकिन यांच्या मार्फत समजते की असे पत्र निश्चित लिहिले गेले. ते काही असो, मेंदेलेयेवचे घनतेबाबतचे मत बॉइसबॉड्रनच्या नजरेस आले व त्याने गॉलिअमच्या घनतेबाबत पुन्हा मोजमाप करण्याचे ठरविले. या वेळी मात्र मेंदेलेयेवनी केलेले घनतेचे सूचित मूल्य त्याने विचारात घेतले. आणि सप्टेंबर १८७६ च्या सुरुवातीस मेंदेलेयेवच्या भाकितानुसार घनतेचे ५.९ हे मूल्य त्यास मिळालेही. याविषयी त्याने जो अहवाल दिला त्यावर भाष्य करण्याची काही जरूरी आहे असे वाटत नाही. त्या फ्रेंच शास्त्रज्ञाची मेंदेलेयेवच्या भाकिताबाबत पक्की खातरजमा झाली आणि त्याचे महत्त्व पटून तो अतिशय प्रभावित झाला. पुढे काही कालावधीनंतर बॉइसबॉड्रनने त्या महान रशियन

रसायनज्ञास आपले छायाचित्र पाठविले व त्यावर लिहिले, "माझ्या मित्र-परिवारात मेंदेलेयेवची गणना व्हावी या अत्यादराच्या व तीव्र इच्छेने – लिकॉक द बॉइसबॉड्रन." त्या मजकुराच्या खाली मेंदेलेयेवनी लिहिले, "लिकॉक द बॉइसबॉड्रन, पॅरिस. यांनी १८७५ मध्ये एका – ॲल्युमिनिअमचा शोध लावला व त्यास "गॅलिअम" असे नाव दिले, Ga = ६९.७".

१८७९ च्या हिवाळयात, एच. रोस्को व सी. शॉर्लेमर यांनी लिहिलेल्या रसायनशास्त्रावरील एका नव्या व तपशीलवार क्रमिक पुस्तकाशी फे. एंगल्स यांचा परिचय झाला. या पुस्तकात मेंदेलेयेवचे एका-ॲल्युमिनिअमविषयक भाकित व त्याचा गॅलिअम या नावाने लागलेला शोध याची प्रथमतःच सविस्तर हकिकत दिली होती. पुढे प्रसिद्ध होणाऱ्या "निसर्गाचे तत्वज्ञान" या आपल्या पुस्तकात वरील पुस्तकातील संबंधित उतारा देऊन अखेर एंगल्सनी म्हटले, "परिमाणांचे गुणांमध्ये रूपांतरण होण्याबद्दल हेगेलचा जो सिद्धान्त आहे त्याचा अजाणतेने वापर करून मेंदेलेयेवनी विज्ञानक्षेत्रात एक महान कृत्य केले आहे. एका अज्ञात ग्रहाची कक्षा अगोदरच ठरविण्यात लव्हेरिअरची जी अद्वितीय कामगिरी आपणापुढे आहे, तिच्या तुलनेने मेंदेलेयेवचीही कामगिरी कोणत्याही प्रकारे कमी समजता येणार नाही." (एंगल्स)

स्कंडिअम

मृद्वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्ये या प्रकरणात (पृष्ठ १५३) स्कँडिअमच्या शोधाबाबत धावता उल्लेख आम्ही केलेलाच आहे. हे खरेच की स्कँडिअमचे अनेक गुणधर्म मृदवर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांशी पुष्कळसे मिळतेजुळते आहेत, तरीपण हे मूलद्रव्य, आवर्ती पद्धतीच्या तिसऱ्या गटातील बोरॉन या मूलद्रव्याशी समानधर्मी असणार, हे भाकित मेंदेलेयेवनी केले होते. त्याचे हे भविष्य चांगल्याप्रकारे अचूक ठरले. एल. नीलसन या स्विडिश रसायनज्ञाने स्कँडिअमचा शोध लावला. या शोधाबाबतचा त्याचा "स्कँडिअम या नव्या दुर्मिळ धातूचे विवरण" हा लेख १२ मार्च १८७९ रोजी प्रसिद्ध झाला आणि २४ मार्च रोजी पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसच्या सभेत त्यावर साधकबाधक चर्चाही झाली.

या संदर्भात हे सांगणे जरूरी आहे की स्कँडिअमविषयक नीलसनचे अनेक निष्कर्ष बरोबर नव्हते. त्याच्या मते स्कँडिअम चतुःसंयुजी ठरले व म्हणून त्याच्या ऑक्साइडचे ScO_2 हे सूत्र ठरविले. त्याने अणुवस्तुमानाचे मोजमाप

केलेच नाही पण त्याबाबत १६०-१८० अशी मर्यादा सांगितली. आवर्ती कोष्टकात कथील व थोरिअमच्या दरम्यान स्कँडिअमचे जे स्थान नीलसनने सुचविले ते मेंदेलेयेवच्या भाकिताच्या अगदी विरुद्ध गेले.

शास्त्रीय वर्तुळात स्कँडिअमच्या शोधामुळे चांगलेच कुतूहल निर्माण झाले आणि या नव्याने शोधल्या गेलेल्या मूलद्रव्याचा आपण अभ्यास करावा असे पी. क्लीव्ही याने ठरविले. सुमारे पाचएक महिन्यांपावेतो त्याने स्कँडिअम सखोलपणे अभ्यासिले आणि नीलसनचे अनेक निष्कर्ष चुकीचे आहेत अशी त्याची पक्की खात्री झाली. पुढे १८ ऑगस्ट रोजी नीलसनने याविषयी एक अहवाल पॅरिस अ‍ॅकॅडेमी ऑफ सायन्सेसला सादर केला आणि सभासदांना स्कँडिअमबद्दल कितीतरी नवी माहिती ज्ञात झाली. हे मूलद्रव्य चतुःसंयुजी नसून त्रिसंयुजी आहे व त्याच्या ऑक्साइडचे सूत्र Sc_2O_3 आहे हे उघड झाले. त्याचे गुणधर्मही नीलसनने ठरविलेल्या गुणधर्मांपेक्षा काहीसे वेगळे ठरले. क्लीव्हीच्या मतानुसार (आणि ते खासकरून महत्त्वपूर्ण ठरते), मेंदेलेयेवने भाकित केल्याप्रमाणे स्कँडिअम एका-बोरॉन ठरले. क्लीव्हीने एक कोष्टकच दिले व त्याच्या डावीकडच्या स्तंभात एका-बोरॉनचे गुणधर्म दिले आणि उजवीकडच्या स्तंभात स्कँडिअमचे गुणधर्म दिले. दुसऱ्या दिवशी मेंदेलेयेवना पाठविलेल्या पत्रात क्लीव्ही म्हणतो, "आपणास कळविण्यास मला अभिमान वाटतो की एका-बोरॉन हे आपले मूलद्रव्य मिळविले गेले. या वसंतऋतूत शोधण्यात आलेले स्कँडिअम हेच ते मूलद्रव्य होय."

अखेर १० सप्टेंबर रोजी क्लीव्हीने, स्कँडिअमवर एक प्रदीर्घ लेख प्रसिद्ध केला. त्यावरून अगदी उघड होते की नीलसनपेक्षा क्लीव्हीला स्कँडिअमबाबत कितीतरी अधिक आकलन झाले होते. या दृष्टीने जे इतिहासकार स्कँडिअमच्या शोधाचा मान क्लीव्ही आणि नीलसन या दोघानाही देतात ते सर्वस्वी बरोबरच म्हणता येते.

नीलसन मात्र बराच काळ गैरसमजुतीच्या पगड्याखाली स्कँडिअमच्या काही गुणधर्मांबाबत संशोधन करीत राहिला आणि त्याचे एका-बोरॉनशी असणारे साधर्म्य नाकारीत राहिला. तथापि, क्लीव्हीच्या कार्याचा त्याच्या मनावर मोठाच परिणाम झाला आणि खूप उशिराने त्यास आपली चूक कबूल करावी लागली. असे करण्यात त्याने आवर्ती पद्धतीच्या अनुमान किंवा भाकित करण्याच्या सामर्थ्यास मान झुकवून मान्यताच दिली.

कालाच्या प्रदीर्घ ओघात मेंदेलेयेवची सारी भाकिते अचूक ठरली. त्यांचे

अखेरचे अचूक ठरलेले भाकित म्हणजे धातुरूप स्कँडिअमची घनता हे होय. अगदी १९३७ मध्ये जर्मन रसायनज्ञ डब्ल्यु. फिशर यास ९८ टक्के शुद्ध स्कँडिअम तयार करणे शक्य झाले व त्याची घनता दर घन सें. मी. ला ३.० ग्रॅम अशी ठरली. मेंदेलेयेवने नेमके हेच मूल्य सूचित केले होते!

जर्मेनिअम

मेंदेलेयेवने भाकित केलेल्या तीन मूलद्रव्यांपैकी शेवटी शोधले जाणारे मूलद्रव्य म्हणजे जर्मेनिअम हे होय. पहिल्या दोन मूलद्रव्यांच्या तुलनेने या मूलद्रव्याचा शोध बराचसा योगायोगाने लागला असेच म्हटले पाहिजे. पी. लीकॉक द बॉइसबॉड्रन यांच्या वर्णपटीय अभ्यासाशी गॅलिअमचा शोध सरळ-सरळ संबंधित आहे यात संशय नाही. तसेच, त्यावेळी चालू असलेल्या मृदवर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या संशोधनकार्यात एल. नीलसन आणि पी. क्लिव्ही यांचाही वाटा होता व त्यातूनच स्कँडिअम अलग केले गेले.

एका-सिलिकॉनच्या अस्तित्वाचे भाकित करताना मेंदेलेयेवने असे गृहित धरले की ज्या खनिजामध्ये Ti, Zr, Nb व Ta आढळतात त्यामध्ये एका-सिलिकॉन सापडणे शक्य असावे. तो स्वतःच त्यासाठी काही दुर्मिळ खनिजांचे विश्लेषण करण्याच्या बेतात होता, पण तो योग त्याच्या नशिबी नव्हता. अशा परिस्थितीत एका-सिलिकॉनचा शोध लागण्यापूर्वी १५ वर्षे जावी लागली.

१८८५ च्या उन्हाळयात फ्रीबर्ग नजिकच्या हिमेल्सफूर्स्ट खाणीत एक नवेच खनिज पाहण्यात आले. त्याच्या रासायनिक विश्लेषणात रूप्याचा अंश आढळल्यामुळे खनिजास "अर्जिराडाइट" हे नाव दिले गेले, कारण लॅटिन भाषेत रूप्यास अर्जेंटिम म्हटले जाते. पी. विंकलरकडे या खनिजाचे निश्चित घटक ठरविण्याचे काम, फ्रीबर्ग मायनिंग अॅकॅडेमीने सोपविले. हे पृथक्करण एकंदरीत सुलभ होते आणि अल्पावधीत या विश्लेषण कामातून असे आढळले की खनिजात ७४.७२ टक्के रूपे, १७.४३ टक्के गंधक ऊर्फ सल्फर, ०.६६ टक्के आयर्न ऑक्साइड, ०.२२ टक्के झिंक ऑक्साइड व ०.३१ टक्के पारा आहे. पण या साऱ्यांची बेरीज १०० टक्के होण्याऐवजी ९३.०४ च भरते हे पाहून विंकलरला आश्चर्य वाटले. त्याने पुनःपुन्हा विश्लेषण करून पाहिले पण ६.९६ टक्के भागाचा पत्ता काही लागला नाही.

मग विंकलरने क्रमप्राप्त असे अनुमान काढले की हा झुकांड्या देणारा

भाग म्हणजे एक नवे मूलद्रव्य असावे. या कल्पनेने तो उत्साहित झाला आणि मग काळजीपूर्वक त्या खनिजाच्या अभ्यासास लागला. फेब्रुवारी १८८६ मध्ये एका-सिलिकॉनच्या इतिहासातील महत्त्वपूर्ण घटनांनी वेग घेतला.

६ फेब्रुवारी रोजी विंकलरने जर्मन केमिकल सोसायटीस एक अहवाल सादर करून कळविले की एका नव्या मूलद्रव्याची काही संयुगे तयार करण्यात व ती मुक्त अवस्थेत मिळविण्यात आपण यशस्वी झालो आहोत. विंकलरचा हा अहवाल प्रसिद्ध केला गेला आणि जगातील विविध शास्त्रीय संघटनांकडे पाठविण्यात आला. हा पहा रशियन फिजिको-केमिकल सोसायटीस मिळालेल्या पत्रातील काही भाग: "खाली सही करणाऱ्यांना रशियन फिजिको-केमिकल सोसायटीस कळविण्यास आनंद वाटतो की त्यांना अर्जिरोडाइट खनिजात एक नवे व अधातू वर्गातील मूलद्रव्य सापडले असून त्यास "जर्मेनिअम" असे नाव त्यांनी दिले आहे. या नव्या मूलद्रव्याचे गुणधर्म अर्सेनिक व अँटिमनीच्या गुणधर्माशी खूपच मिळतेजुळते आढळतात. आर्जिरोडाइट हे एक नवे खनिज फ्रीबर्गच्या वेसबॅक यांना सापडले असून त्यात रूपे, गंधक, आणि जर्मेनिअम यांचे अंश आहेत."

या पत्रातील तीन उल्लेखांकडे खास लक्ष दिले पाहिजे. पहिला म्हणजे विंकलरने या नव्या मूलद्रव्यास अ-धातू संबोधिले आहे. दुसरा मुद्दा म्हणजे ते आर्सेनिक व अँटिमनीशी मिळतेजुळते असल्याचे त्याने गृहित धरले आहे. तिसरा असा की या मूलद्रव्याचे अगोदरच नाव ठेवले गेले. विंकलरच्या मनात "नेप्च्यूनिअम" हे नाव यावे असे होते. पण दुसऱ्या एका मूलद्रव्यास — खरे तर खोट्या मूलद्रव्यास — ते नाव केव्हाच दिले होते. मग त्या शास्त्रज्ञाने "जर्मनी" या नावाशी संबंधित असे "जर्मेनिअम" हे नाव सुचविले. थोड्या उशिरा का होईना पण हे नाव बहुतेक सर्व ठिकाणी स्वीकारले गेले.

पुढे असे स्पष्ट झाले की जर्मेनिअम मोठ्या स्वरूपात उभयधर्मी आहे. साहजिकच, हे मूलद्रव्य अ-धातु वर्गातील आहे असे जे विंकलरने सांगितले होते ते सर्वस्वी चुकीचे नव्हते. कोणत्या मूलद्रव्यांशी जर्मेनिअमचे साधर्म्य आहे याबाबत मोठेच वादविवाद झाले. आपल्या अहवालात आर्सेनिक व अँटिमनीचा उल्लेख विंकलरने केला होता पण जर्मन रसायनज्ञ रिश्टर हा त्याच्याशी सहमत झाला नाही. रिश्टरने असे मत मांडले की जर्मेनिअम अधिक करून एका-सिलिकॉनशीच मिळतेजुळते ठरते. रिश्टरच्या या मतामुळे जर्मेनिअमच्या

संशोधकाचे मत डळमळले. आपल्या फेब्रुवारी १६ च्या पत्रात विंकलर मेंदेलेयेवला लिहितो : "सुरुवातीस माझे मत असेच झाले की अत्यंत वैशिष्टयपूर्ण व सखोल विचारान्ती जन्मलेल्या आपल्या (आवर्ती) पद्धतीत हे नवे मूलद्रव्य, अँटिमनी व बिस्मथ यातील पोकळी भरून काढेल व ते तुमच्या एका-अँटिमनीशी मिळतेजुळते ठरेल. प्रत्यक्षात असेच पाहण्यात आले की याबाबतीत आपण एका-सिलिकॉनशीच व्यवहार करीत आहोत."

मेंदेलेयेवच्या अभिनंदनात्मक पत्रास विंकलरने दिलेले उत्तर हे असे आहे. एक मात्र मनोरंजक गोष्ट अशी की जरी मेंदेलेयेवने अँटिमनी – जर्मेनिअम साधर्म्य चुकीचे ठरविले होते तरी एका-सिलिकॉन म्हणजेच जर्मेनिअम हा विचारही त्याच्या मनास शिवला नव्हता. नव्या मूलद्रव्याचे उद्गमस्थान पूर्वी सुचविण्यात आलेल्या टिटॅनिअम व झिर्कोनिअमच्या खनिजांशी संबंधित तर नाहीच परंतु त्यांच्याशी कोणतेच साधर्म्य नसलेल्या अशा वेगळ्याच खनिजाशी आहे हे पाहून खुद्द मेंदेलेयेववर बहुदा आश्चर्यचकित होण्याची पाळी आली असावी. आवर्ती नियमाच्या त्या शोधकाने नंतर मग एक वेगळी कल्पना मांडली, ती अशी की जर्मेनिअम हे कॅडमिअमशी म्हणजेच एका-कॅडमिअमशी मिळतेजुळते असावे.

गॅलिअम व स्कँडिअम यांचे स्वरूप संशयातीतपणे जरी ठरविले गेले असले तरी जर्मेनिअमबाबत मात्र तसे घडले नाही. या ठिकाणी मेंदेलेयेवची पूर्ण खात्री नव्हती. तथापि, या अनिश्चिततेची जागा अल्पावधीतच निश्चितीने घेतली आणि २ मार्च रोजी मेंदेलेयेवने विंकलरला तारेने कळविले व जर्मेनिअमच्या एका-सिलिकॉनशी असणाऱ्या साधर्म्यास मान्यता दर्शविली.

थोड्याच दिवसात विंकलरचा "जर्मेनिअम -- एक नवे मूलद्रव्य" हा लेख "जर्नल ऑफ रशियन फिजिको-केमिकल सोसायटी" यात प्रसिद्ध झाला. सूचीत केल्या गेलेल्या एका-सिलिकॉनचे गुणधर्म आणि जर्मेनिअमचे प्रत्यक्ष गुणधर्म यात जी अत्यंत मनोवेधक समानता आढळली त्याचे हे नाविन्यपूर्ण उदाहरणच म्हटले पाहिजे.

अज्ञात मूलद्रव्यांचे भाकित

गॅलिअम, स्कँडिअम व जर्मेनिअम यांचा इतिहास हेच दर्शवितो की आवर्ती नियम व आवर्ती पद्धत यामुळे त्यांच्या शोधामध्ये कोणतीही अडचण उद्भवली नाही. उलट, एका-ॲल्युमिनिअम, एका-बोरॉन आणि एका-सिलि-

कॉन यांचे जे गुणधर्म सूचित केले गेले ते गॅलिअम, स्कँडिअम व जर्मेनिअम यांच्या गुणधर्मांशी अगदी मिळतेजुळते असेच ठरले. निसर्गात त्यांचा शोध लागण्याच्या कितीतरी आधी मेंदेलेयेवने त्यांची ठळक वैशिष्टये निश्चित केली होती. शोध लागण्याआधीच मूलद्रव्यांचे भाकित वर्तविण्याची आवर्ती पद्धतीची जी अद्‌भूत क्षमता आहे तिचे हे विस्मयजनक निदर्शन नव्हे काय?

गॅलिअमचा शोध व एका-अॅल्युमिनिअमबरोबर त्याचे साधर्म्य ही घटना म्हणजे आवर्ती नियमाच्या व मूलद्रव्यांच्याही इतिहासात एक महत्त्वाचा टप्पा ठरतो. १८७५ नंतर ज्या शास्त्रज्ञांनी आवर्ती पद्धत दुर्लक्षिली होती त्यांनासुद्धा या विचारप्रणालीचे वैशिष्टच आणि महत्त्व अखेर मान्य करावे लागले. या लोकांमध्ये वर्णपटीय विश्लेषणपद्धतीचा जनक समजल्या गेलेल्या बुनसेनचा तसेच पी. क्लिव्हीचा समावेश होता. बुनसेनने तर स्वच्छच सांगून टाकले की मूलद्रव्यांचे अशाप्रकारे वर्गीकरण करणे म्हणजे शेअरबाजारामध्ये सांगितल्या जाणाऱ्या किंमतीच्या आकड्यात नियमितपणा शोधण्याएवढाच वेडेपणा आहे. अशा शास्त्रज्ञांनी आपल्या व्याख्यानांमध्ये आवर्ती पद्धतीचा चुकूनसुद्धा उल्लेख होऊ नये म्हणून दक्षता घेतली. तथापि, स्कँडिअम आणि जर्मेनिअम यांच्या शोधांनी आवर्तन सिद्धांताच्या भविष्यकालीन यशाची आणखी एक पताका उभारली.

या तीन मूलद्रव्यांव्यतिरिक्त आणखीही काही मूलद्रव्यांचे भाकित मेंदेलेयेवने वर्तविले होतेच. १८७० पर्यंतच या कोष्टकात दहा जागा रिकाम्या असल्याचे त्याच्या लक्षात आले होते व त्या सातव्या गटात असल्याचे त्याने पाहिले. यामध्ये मँगनीजशी साधर्म्य असणारे मूलद्रव्य नव्हते किंवा आयोडिनशी साम्य असणारे वजनदार (धातूप्रमाणे गुणधर्म असणारे सर्वात जड असे हेलोजेनवर्गीय मूलद्रव्य) नव्हते.

मेंदेलेयेवच्या लिखाणात एका-, द्वि- व त्रि-मँगनीजचा व एका-आयोडिनचा उल्लेख आढळतो. त्यांच्या अस्तित्वाबाबत या शास्त्रज्ञाचा पक्का विश्वास असल्याचे दिसते. या ठिकाणी आपणास एक रोचक वस्तुस्थिती पहावयास मिळते. एका-मँगनीज (पुढे टेक्निशियम म्हणून ज्ञात झालेले) आणि एका-आयोडिन (अॅस्टाटाइट) यांचे संश्लेषण पुढे केले गेले. ती निसर्गात आढळत नाहीत याची माहिती मेंदेलेयेवला असणे शक्यच नव्हते. तरीपण, त्यांच्या अस्तित्वावर मेंदेलेयेवचा पूर्ण विश्वास होता. याचे कारण

एकच की या मूलद्रव्यांनी आवर्ती कोष्टकातील रिकाम्या जागा भरल्या जात होत्या व ही पद्धत त्यामुळे अधिक तर्कशुद्ध ठरत होती.

मूलद्रव्यांच्या भाकितांमध्ये दोन टप्पे दिसतात: मूलद्रव्याच्या अस्तित्वाचे भाकित व त्याच्या मुख्य गुणधर्मांचे भाकित. मेंदेलेयेवच्या संबंधात पहिला टप्पा म्हणजे बहुतांशी अंदाजी किंवा तर्कस्वरूपाचा होता. किरणोत्साराबद्दल त्यावेळी काहीही माहिती नव्हती. या आविष्कारापायी काही मूलद्रव्ये एवढी अल्पायुषी असतात की त्यांचे भूतलावरील अस्तित्व अशक्य व्हावे, किंवा ती अस्तित्वात येतात कारण दीर्घायुषी मूलद्रव्यांच्या (थोरिअम व युरेनिअम) किरणोत्सारी रूपांतरातून इतर पदार्थ तयार होतात म्हणून.

दुसरा टप्पा मात्र मेंदेलेयेवच्या पूर्णपणे आवाक्यातील व त्याच्या आत्मविश्वासाचा भाग होता. कधीकधी मेंदेलेयेवच्या भाकितात मोठे धाडस व निग्रहीपणा पहावयास मिळतो. याचे उदाहरण म्हणजे एका-अल्युमिनिअम, एका-बोरॉन व एका-सिलिकॉन यांची भाकिते. ज्या जागांमध्ये उत्तमप्रकारे माहित झालेली व अभ्यासिलेली मूलद्रव्ये केव्हाच बसविली गेली, तेथेच खरे म्हणजे त्यांची जागा होती. अगदी विश्वसनीय अशा भाकितांचा हा भाग म्हटला पाहिजे. काही वेळा मात्र अज्ञात मूलद्रव्यांच्या गुणधर्मांची भाकिते करताना मेंदेलेयेव मोठीच सावधगिरी पाळताना दिसतो. अशी उदाहरणे म्हणजे मँगनीजशी, आयोडीनशी, टेल्युरिअमशी साधर्म्य असणारी तसेच सातव्या आवर्तांच्या सुरुवातीची गहाळ मूलद्रव्ये (एका-सिशीअम, एका-बेरिअम, एका-लँथानम व एका टँटलम) होत. त्यांच्याबाबतीत मेंदेलेयेव जणू अंधारात चाचपडत असताना दिसतो, केवळ त्यांच्या अणुवस्तुमानाबद्दलच काय ते बोलतो आणि ऑक्साइडांची सूत्रेच सुचवितो. मेंदेलेयेव असे समजला की ज्या मूलद्रव्यांच्या जागा आवर्ती पद्धतीच्या सीमेपाशी आहेत अशांचे (त्यात मृदवर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्येही आलीच) गुणधर्म वर्तविणे फारच जिकिरीचे आहे, कारण त्यांच्यासभोवताली ज्ञात अशी फारच थोडी मूलद्रव्ये आहेत. अनिश्चित भाकितांची ही धूसर जागा म्हटली पाहिजे. त्या जागेत मृदवर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांनी व्यापलेली जागा आहेच.

अखेर असेही म्हणता येते की काही बाबतीत मेंदेलेयेवची भाकिते अतिशय अविश्वसनीय ठरली. त्यामध्ये हायड्रोजनपेक्षाही हलक्या आणि युरेनिअमपेक्षाही वजनदार अशा तथाकथित मूलद्रव्यांच्या भाकितांचा समावेश पहावयास मिळेल. हा खरोखरीच गूढ कल्पनेचा मनोरम खेळच म्हटला

पाहिजे. आवर्ती पद्धतीची सुरुवात हायड्रोजननेच झाली पाहिजे हे मेंदेलेयेव-च्या मनात कधीच आले नाही. पुढे जेव्हा भौतिकशास्त्रज्ञांनी आवर्ती नियमाचे स्पष्टीकरण दिले तेव्हा कोठे त्यास आपली चूक उमगली व त्यास स्पष्ट झाले की हायड्रोजन अणूवरील विद्युतभार आत्यंतिक कमी म्हणजे १ असा-वयास पाहिजे. तत्पूर्वी त्याने हायड्रोजनआधी येणाऱ्या दोन मूलद्रव्यांवर एक लेख लिहून त्यांच्या गुणधर्मांबाबत त्यात चर्चाही केली होती! युरेनिअमपेक्षाही वजनदार अशा मूलद्रव्यांची भाकिते करून त्यांचे अस्तित्व दर्शविले पण त्यांच्या शक्याशक्य गुणधर्मांबाबत मात्र त्याने फारसे स्वातंत्र्य घेतले नाही. अर्थात अशांची संख्या फारच मर्यादित होती. अशा प्रकारची भाकिते फार कालाव-धीनंतरच झाली व तोपावेतो शास्त्राच्या इतिहासात त्यांनी महत्त्वपूर्ण घटनांचे इशारे द्यावयास सुरुवात केलीच होती.

प्रकरण १० वे

अगदी शेवटी शोधली गेलेली दोन स्थायी मूलद्रव्ये

अणुअंक ७२ व ७५ असलेली मूलद्रव्ये म्हणजे निसर्गात असलेली दोन स्थायी व अगदी शेवटी शोधली जाणारी अशी मूलद्रव्ये होत. या शतकाच्या दुसऱ्या दशकातच ती शोधण्यात आली. ही दोन्ही दुर्मिळ असून त्यातल्या त्यात ऱ्हेनिअम हे अत्यंत अल्प प्रमाणात आढळणाऱ्या मूलद्रव्यांपैकी एक आहे. तथापि, ऱ्हेनिअम व हाफ्निअम यांचा शोध उशिरा लागण्याचे कारण काही त्यांची दुर्मिळता हे मात्र नव्हे. भूरसायनविषयक त्यांचे वैचित्र्यपूर्ण गुण हे त्यामागील खरे कारण होय. ती अंशमात्र मूलद्रव्ये म्हणून समजली जातात व त्यामुळे पृथ्वीच्या कवचात त्यांची स्वतंत्र खनिजे तयार होणेच अशक्य असते; इतर मूलद्रव्यांच्या खाणमातीत किंवा खनिजात अत्यल्प प्रमाणातील अशुद्ध द्रव्ये म्हणूनच ती आलेली असतात. समाकृतिकताच (जेव्हा आयन-त्रिज्या अगदी नजिक असतात तेव्हा काही मूलद्रव्यांच्या स्फटिक-जालकातील आयनांची अदलाबदल होणे, अथवा स्फटिक-रचनेतील साधर्म्य व त्यामुळे बहुदा रासायनिक संघटनेतील सारखेपणा सूचित होणे) या मूलद्रव्यांच्या अशा विशिष्ट प्रवृत्तीस मोठ्या प्रमाणात कारणीभूत आहे. झिर्कोनिअम व हाफ्निअम यांच्या आयन-त्रिज्या जवळजवळ सारख्याच मूल्याच्या असल्यामुळे त्यांच्यात रासायनिक साधर्म्य आलेले दिसते. यामुळेच ती अलग करणे ही आजही एक कठीण समस्या समजली जाते. झिर्कोनिअममध्ये अल्प प्रमाणात हाफ्निअम येतेच येते आणि या दोघातील समानतेमुळे झिर्कोनिअमच्या पार्श्वभूमीवर हाफ्निअम ध्यानात येणे अशक्यप्राय ठरते.

विपुल अशा कोणत्याच मूलद्रव्यांच्या खनिजांबाबत ऱ्हेनिअमला ख़ास अशी आस्था नाही. म्हणूनच हाफ्निअमचे अस्तित्व काहीशा सुलभतेने सिद्ध केले गेले तरी ऱ्हेनिअम मात्र त्यांनंतर कितीतरी वर्षांच्या मेहनतपूर्ण संशोधनानंतरच उघडकीस आले.

आपण कशाचा शोध घेत आहोत याची शास्त्रज्ञांना पुरेपूर कल्पना होती, आणि काय, कोठे व कसे शोधावयाचे आहे याचे नियोजन आधी-पासूनच केले जात होते. क्रमांक ७२ व ७५ या मूलद्रव्यांच्या मागे ते होते. त्यातल्यात्यात हाफ्निअमचा शोध ताबडतोब लागला. ऱ्हेनिअमच्या बाबतीत मात्र चमकदार बुद्धीची सैद्धान्तिक भाकिते चुकीची ठरली.

हाफ्निअम व ऱ्हेनिअम यांच्या भवितव्यात एक वेगळीच समानता होती. एका नव्या प्रकारच्या वर्णपटीय विश्लेषणातून (क्ष-किरणीय वर्णपटविज्ञा-नातून) या दोहोचा शोध लागला. १९१४ मध्ये एच. मोस्ले या इंग्रज भौतिकशास्त्रज्ञाने, मूलद्रव्याच्या क्ष-किरणीय अशा विशिष्ट उत्सर्जनाची तरंगलांबी आणि आवर्ती पद्धतीतील मूलद्रव्याचा क्रमांक यांना गुंफणारा नियम शोधून काढला. या नियमामुळे क्ष-किरण वर्णपट वर्तविणे शक्य झाले. नव्या मूल-द्रव्याच्या शोधामध्ये हाफ्निअम व ऱ्हेनिअमच्या शोधाएवढी परिपूर्ण तयारी कोणाच्याच बावतीत केली गेली नाही.

हाफ्निअम

डेन्मार्क देशात "इन्स्टिटयूट ऑफ थिओरेटिकल फिजिक्स" ही कोपेन-हागेन विद्यापीठाची एक शाखा असून $Z = 72$ (अणुअंक ७२) असणाऱ्या एका नव्या मूलद्रव्याचे तेच जन्मस्थान आहे. ही जन्मतारीख १९२२ च्या डिसेंबरच्या शेवटी येते पण त्याच्या संशोधनविषयक लेखाची तारीख मात्र १९२३ च्या जानेवारीतील आहे. डच वर्णपटवैज्ञानिक डी. कॉस्टर आणि हंगेरीयन रेडिओरसायनज्ञ जी. हेवेसी यांनी कोपेनहागेनच्या हाफ्निया या प्राचीन नावावरून हाफ्निअम हे नाव या मूलद्रव्यास दिले. हाफ्निअमच्या शोधकार्यात एन्. बोर यांची भूमिका मोठी निर्णायक ठरते.

मूलद्रव्य क्र. ७२ याचे उगमस्थान झिर्कॉन हे काहीसे सर्वसामान्य स्वरूपाचे खनिज असून त्यात प्रामुख्याने झिर्कोनिअम ऑक्साइडच असते. संशोधनार्थ या खनिजाची निवड करावी असे तर बोर यांनीच सुचविले.

या डच भौतिकशास्त्रज्ञास यशाची एवढी खात्री कोणत्या कारणामुळे वाटत असावी? हे जाणण्यासाठी मेंदेलेयेव ज्यावेळी आपली आवर्ती पद्धत उभारण्यात गुंतला होता त्या १८७० च्या काळात थोडे डोकावू या. मेंदेलेयेवने झिर्कोनिअमची जागा, अणुवस्तुमानांक सुमारे १८० असणाऱ्या एका अज्ञात

मूलद्रव्यासाठी राखून ठेवली होती. मेंदेलेयेवचीच परिभाषा वापरून त्यास आपण एका-झिर्कोनिअम असे म्हणू या. मेंदेलेयेवने केलेली गॅलिअम, स्कँडिअम व जर्मेनिअम यांची भाकिते खरी ठरल्यावर एका-झिर्कोनिअमच्या अस्तित्वाबाबत असणारा विश्वास चांगलाच प्रबल ठरला. तथापि या गृहीत मूलद्रव्याच्या गुणधर्मांबाबतचा मुद्दा अनुत्तरितच राहिला. यासंबंधी काही निश्चित सांगण्यापासून मेंदेलेयेव दूर राहिला. सर्वसाधारणपणे असे म्हणता येईल की दोन प्रकार शक्य होते : एका-झिर्कोनिअम आवर्ती कोष्टकाच्या IVB या उपगटाचा तरी भाग असण्याची शक्यता होती, म्हणजेच त्याचे झिर्कोनिअमशी साधर्म्य असणे शक्य होते. किंवा, मृद्‌वर्गातील दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या गटातील सर्वात अधिक वजनदार मूलद्रव्य असण्याची शक्यता होती. या प्रसंगी, "सेल्टिअम" या नावाचे स्मरण करणे जरूरीचे आहे (पृ. १६८).

निसर्गात अस्तित्वात असणाऱ्या मृद्‌वर्गीय मूलद्रव्यांपैकी अखेरचे असे ल्युटेशिअम इटर्बिअमपासून वेगळे केल्यानंतर जी. उर्बेनने याच वर्गातील वजनदार अशी मूलद्रव्ये अलग करण्याचे अवघड काम चालूच ठेवले. अखेर ज्याच्या प्रकाशीय वर्णपटात नव्या रेषा आहेत असा अंश वेगळा मिळविण्यात तो यशस्वी झाला. ही घटना १९११ मधली आहे. पण त्यावेळी तिकडे कोणीच लक्ष दिले नाही. ज्या उर्बेनने या नव्या मूलद्रव्यास नाव सुचविले त्यासच खात्री नसावी की आपण खरोखरीच एक नवे मूलद्रव्य शोधले आहे. ते काही असो, पण या "सेल्टिअम"चा नमुना ऑक्सफोर्ड येथे काम करणाऱ्या मोस्लेला पाठविण्याचा त्याने निर्णय घेतला. मोस्लेने या नमुन्यांची क्ष-किरणीय वर्णपट तंत्राद्वारे तपासणी केली पण क्ष-किरण छायाचित्रे फारच खराब दर्जाची मिळाली. तरीसुद्धा, १९१४ मध्ये एक वृत्तांत प्रसिद्ध करून मोस्लेने ठामपणे सांगितले की सेल्टिअम हे ज्ञात अशा मृदवर्गीय मूलद्रव्यांचे मिश्रण आहे. या वृत्तांताकडे कोणाचेच लक्ष गेले नाही. थोडक्यात, सेल्टिअमचा शोध दीर्घकाळ संशयास्पदच ठरला. एवढे असूनही शास्त्रीय मासिकांमध्ये Ct हे सेल्टिअमचे चिन्ह अधूनमधून पहावयास मिळे.

मध्यंतरीच्या काळात एन. बोर आपल्या इलेक्ट्रॉन कवचांच्या सिद्धान्ताबाबत काम करीतच होता. आवर्ती पद्धतीबाबत हा सिद्धान्त फारच मोलाचा ठरला आणि त्यायोगे अखेर रासायनिक मूलद्रव्यांच्या गुणधर्मात जे आवर्ती बदल पहावयास मिळतात त्याचे स्पष्टीकरण झाले. बोरने, रसायनशास्त्रज्ञांना फार काळ स्वारस्य असणाऱ्या एका प्रश्नाचीही उकल केली, तो

म्हणजे मृदवर्गातील मूलद्रव्यांची निश्चित संख्या किती. लँथॅनम ते ल्युटेशिअमपर्यंत ही संख्या पंधरा असावयास हवी होती. निओडिमिअम व समारिअम यामध्ये असणारे असे एकच मृद्वर्गीय मूलद्रव्य (पुढे प्रोमोथिअम या नावाने ते ओळखले गेले) अज्ञात होते. वाढत्या अणुअंकानुसार (Z नुसार) इलेक्ट्रॉन कवचे तयार होण्याबद्दलचे जे नियम बोरने संशोधिले त्यानुसार वरील निष्कर्षाप्रत तो पोहोचला होता.

तेव्हा, सेल्टिअम जर खरोखरीच मृद्वर्गीय मूलद्रव्य असेल तर बोरच्या सिद्धांतानुसार ते पूर्णपणे रद्द होते. ते एका-झिर्कोनिअम का म्हणून नसावे? ल्युटेशिअममुळे मृद्वर्गीय मूलद्रव्यांची संख्या पूर्ण होते असे एकदा निश्चितपणे सिद्ध झाल्यावर बोरने ठामपणे सांगितले की अणुक्रमांक ७२ असणारे मूलद्रव्य झिर्कोनिअमचेच समानधर्मी स्वरूप असावयास पाहिजे, दुसरेतिसरे कोणतेही असणे शक्य नाही. बोरने या गहाळ मूलद्रव्याचा झिर्कोनिअमच्या खनिजात शोध घेण्याचा सल्ला डी. कॉस्टर व हेवेसी यांना दिला. हा सारा वृत्तांत आज आपणास मोठा तर्कशुद्ध आणि स्वच्छ दिसतो खरा पण त्यावेळी त्यातील अनेक मुद्दे मोठे वादग्रस्त होते. जर मूलद्रव्य ७२ हे झिर्कोनिअमचे सर्वस्वी समान स्वरूप ठरले नाही तर बोरचा आवर्ती पद्धतीचा संपूर्ण सिद्धान्त संशयास्पद ठरला असता. झिर्कोनिअमपासून हाफ्निअम अलग करून कॉस्टर व हेवेसी यांनी बोरचा सिद्धान्त प्रायोगिकदृष्ट्या खात्रीदायक असल्याचे सिद्ध केले. अर्धशतकापूर्वी गॅलिअमच्या शोधामुळे मेंदेलेयेवच्या आवर्ती पद्धतीसही अशाच प्रकारे खात्रीशीरपणा मिळवून दिला हे वाचकांना स्मरत असेलच.

हाफ्निअमच्या शोधाचा वृत्तांत उर्बेनने जेव्हा वाचला तेव्हा त्यास कळून चुकले की सेल्टिअमचा शेवट झाला. पराभवाचे शल्य सर्वांनाच काही खिलाडूपणे पचविता येत नाही. सेल्टिअमशी फारकत घेण्यास उर्बेन तयार नव्हता, ते मूलद्रव्य क्र. ७२ असल्याबाबतचे आपले प्रयत्न त्याने चालूच ठेवले. त्याच्या मदतीस ए. डॉव्हिलिअर हा फ्रेंच वर्णपट वैज्ञानिकही धावला. सेल्टिअमच्या वर्णपटाची सत्यता सिद्ध करण्याचा आणि ते एक मृद्वर्गीय "मूलद्रव्य" आहे असे दाखविण्याचा त्याने प्रयत्न केला.

एवढेच नव्हे तर या दोघांनी असेही जाहीर केले की कॉस्टर व हेवेसी यांनी सेल्टिअमचा केवळ पुनर्शोध लावला आहे. या वादामधून काहीच निष्पन्न आले नाही, कारण हाफ्निअम अवतीर्ण झालेच होते. ते शुद्धावस्थेत तयार

केले गेले आणि त्यावर नव्याने संशोधन झाले असता निष्पन्न झाले की त्याच्या व सेल्टिअमच्या वर्णपटात मुळीसुद्धा साम्य नाही. इतिहासाची केवढी उपरोधिक वर्तणूक आहे पहा! हाफ्निअमचा शोधक म्हणून नाव होण्यासाठी जे जे हवे ते सारे काही उर्बेनजवळ होते. १९२२ च्या सुरुवातीस त्याने व सी. बोलॅन या त्याच्या सहकाऱ्याने थॉर्टव्हेटाइट या खनिजाचे विश्लेषण केले होते. त्यामध्ये ८% झिर्कोनिअम आणि त्याहीपेक्षा अधिक प्रमाणात हाफ्निअम ऑक्साइडचा अंश होता. झिर्कोनिअमपेक्षा हाफ्निअम ऑक्साइड जादा प्रमाणात असल्याचे ते एकूलतेएक उदाहरण होते. पण एवढे असूनही उर्बेन व बोलॅन मूलद्रव्य क्र. ७२ प्रकाशात आणू शकले नाहीत. झिर्कोनिअम व हाफ्निअम यांच्यात आढळणारे आत्यंतिक रासायनिक साधर्म्य हेच त्यामागील कारण होय.

ऱ्हेनिअम

इतिहासाच्या दृष्टीकोनातून पाहिल्यास हाफ्निअमच्या तुलनेने ऱ्हेनिअमला अधिक अनुकूलता होती. ७५ क्रमांकाचे मूलद्रव्य मँगनीजसदृश अथवा मेंदेलेयेवच्या भाषेत त्रि-मँगॅनीज असले पाहिजे याबाबत कोणाचेच दुमत नव्हते. पण इतर बाबतीत मात्र निश्चित खात्री वाटत नव्हती.

यासंबंधी एक प्रयोग करता येईल, ज्यामध्ये ऱ्हेनिअमची चर्चा आहे असे काही प्रबंधात्मक ग्रंथ व क्रमिक पुस्तके चिकित्सा न करता निवडू या. आपणास असे पहावयास मिळेल की काही मुद्यांबाबत लेखकांचे एकमत आढळते तर काहींच्या बाबतीत त्यांचे तीव्र मतभेद आहेत. ऱ्हेनिअमचा शोध १९२५ मध्ये लागला हे सर्वांनाच मान्य आहे पण ते कोणत्या खनिजापासून मिळविले गेले असा प्रश्न येताच मतभेद दृष्टीस पडतात. ऱ्हेनिअमचे उद्गमस्थान म्हणून ज्या ज्या खनिजांचा उल्लेख केला जातो त्यामध्ये कोलंबाइट व प्लॅटिनमची खनिजे आहेत; नैसर्गिकरीत्या आढळणारे प्लॅटिनम व टँटलाइट आहे; निओबाइट व वोल्फामाइट तसेच ॲलिव्हाइट आणि गॅडोलिनाइटही आहेत. खनिजांचा हा एवढा वैचित्र्यपूर्ण गट आहे की त्यातून मार्ग काढणे एखाद्या तरबेज भूरसायनज्ञासही कठीण व्हावे.

हे सांगितल्यानंतर ऱ्हेनिअमच्या शोधकांचीही नावे सांगणे आवश्यकच आहे. व्ही. नोडॅक, आय. टॅकी (नंतर व्ही. नोडॅकशी विवाह केलेली)

तसेच वर्णपटवैज्ञानिक ओ. वर्ग हे ते संशोधक होत. त्यांच्या त्या कामाबद्दल कोणीच शंका घेतली नाही. इंजिनिअरमंडळींनी एखाद्या पुढे शोधल्या जाणाऱ्या मूलद्रव्याबाबत स्वारस्य दाखविण्याची ही बहुदा पहिलीच वेळ असावी. आवर्ती पद्धतीच्या उपयोगाबद्दल त्यांनाही कल्पना होतीच. विद्युतक्षेत्रात टंगस्टनचा विस्तृत वापर होत असल्यामुळे मूलद्रव्य ७५ च्या अंगी त्याहीपेक्षा आणखी उपयुक्त गुणधर्म असावेत असे त्यांना वाटणे चूकीचे नव्हते. हे मूलद्रव्य शोधण्याचे नोडॅक्सचे पहिले प्रयत्न जर कोणत्या कारणामुळे सुरू झाले असतील तर ते व्यावहारिक गरजेमुळेच.

१९२२ मध्ये संपूर्ण पूर्वतयारीनिशी त्यांनी संशोधनास सुरुवात केली. प्रथमतः त्यांनी या मँगॅनीजसदृश मूलद्रव्यावरील सारे संशोधन-अहवाल एकत्रित केले. अशांचे शोध निश्चित केले गेले नव्हते, त्यामुळे त्याबाबत फेरतपासणी होणे फायद्याचे वाटले. या शास्त्रज्ञांनी मोठ्या प्रमाणात आपला संशोधन-कार्यक्रम आखला. त्यांनी एकाचवेळी दोन मूलद्रव्यांचा शोध घेण्याचे ठरविले, कारण मँगॅनीजसदृश असे ७५ क्रमांकाचेच मूलद्रव्य नव्हते तर हलक्या वजनातील त्याचा आधीचा सभासद ऊर्फ मूलद्रव्य क्र. ४३ हे पण होते. ते तर मोठ्या वैचित्र्यपूर्ण भवितव्याचे होते (पृ. २४२ पहा). आवर्ती कोष्टकामुळे त्यांच्या अनेक गुणधर्मांबाबत भाकिते करता आली. या ठिकाणी नोडॅक्सने वर्तविलेले गुणधर्म व ऱ्हेनिअमचे प्रत्यक्षात आढळलेले गुणधर्म यांची तुलना मनोरंजक ठरेल.

वर्तविलेले गुणधर्म	आधुनिक आकडेवारी
अणुवस्तुमानांक, १८७-१८८	१८६.२
घनता, २१	२०.५
वितळणबिंदू, ३३०० के.	३३२३ के.
उच्चस्तरीय ऑक्साइडचे सूत्र, X_2O_7	Re_2O_7
उच्चस्तरीय ऑक्साइडचा वितळणबिंदू, ४००-५००^0 से.	२२०^0 से.

यात आढळणारी एकवाक्यता उत्कृष्ट दर्जाचीच म्हटली पाहिजे. फक्त ऑक्साइडचा वितळणबिंदू काय तो अपेक्षित मूल्यापेक्षा खूपसा कमी आहे. ही एक बाब वगळता भाकिते करण्याची मेंदेलेयेवची अभिजात पद्धत पूर्णपणे प्रस्थापित होते. असेही म्हणता येते की मूलद्रव्य क्र. ७५ (व मूलद्रव्य क्र. ४३) कोणते असणार याची नोडॅक्सला अगदी उत्तमप्रकारे कल्पना आली

होती. ऱ्हेनिअमचा इतिहास हा त्याच्या हलक्या वजनातील समानधर्मीयाशी अगदी घट्टपणे गुंफलेला असल्याचे दिसते.

पण या मूलद्रव्यांचा शोध कोणत्या खनिजात घ्यावयाचा? त्याचे भाकित करण्यासाठी तत्कालीन भूरासायनिक ज्ञानाचा पूर्ण उपयोग नोडॅक्सने केला. त्याला असेही समजून चुकले की ते अगदी दुर्मिळ स्वरूपाचे मूलद्रव्य असले पाहिजे. तथापि ते केवळ अंशमात्रच मूलद्रव्य असले पाहिजे ही कल्पना मात्र त्याच्या मनास शिवली नाही. परिणामी ज्याबाबत कधीच प्रश्न उद्भवणार नाही. असेच मुद्दे संशयास वाट करून देणारे ठरले.

या शास्त्रज्ञांनी खनिजांच्या दोन गटांवर संशोधन करण्याचे ठरविले. त्यापैकी एक गट होता प्लॅटिनम खनिजांचा व दुसरा होता तथाकथित कोलंबाइटांचा (टँटलाइटांचा). १९२१-२५ अशी चार वर्षे हव्या असणाऱ्या मूलद्रव्यांच्या शोधात व्यतीत झाली, पण व्यर्थ. यासुमारासच क्ष-किरण वर्णपटाच्या सहाय्याने वर्तविण्यात आलेल्या हाफ्निअमचे शोधवृत्तांत बाहेर पडले, आणि मँगॅनीजशी साधर्म्य सांगणाऱ्या मूलद्रव्याचे निसर्गातील अस्तित्व सिद्ध करण्यासाठी याच तंत्राचा वापर करावा असे नोडॅक्सच्या मनात आले. त्यासाठी त्यांनी ओ. बर्ग या क्ष-किरण वर्णपटतज्ज्ञाचे सहाय्य घेण्याचे ठरविले.

१९२५ च्या जूनमध्ये व्ही. नोडॅक, आय. टॅकी व ओ. बर्ग यांनी, दोन गहाळ असणाऱ्या अशा मेसुरिअम (क्र. ४४) व ऱ्हेनिअम (क्र. ७५) या मूलद्रव्यांच्या शोधाबाबत आपला लेख प्रसिद्ध केला. कोलंबाइट व उराल पर्वतराजीत आढळणाऱ्या प्लॅटिनममध्ये ही दोन मूलद्रव्ये सापडली आणि जर्मनीतील दोन प्रांतांच्या नावावरून त्यांना नावे दिली गेली. त्यांचे अस्तित्व प्रामुख्याने क्ष-किरण वर्णपटाद्वारे सिद्ध केले गेले पण ती खनिजापासून अलग करण्याचा प्रश्नच उद्भवला नाही आणि त्या जर्मन शास्त्रज्ञांचा त्याबाबतचा पाठपुरावा मोठा गुंतागुंतीचा तसेच अडचणीत टाकणारा होता. तथापि, लेखामुळे लोक आकर्षिले गेले व काही शास्त्रज्ञांनी वरील त्रिकुटास मिळालेले निष्कर्ष पुन्हा जसेच्या तसे मिळतात का ते पाहण्याचे ठरविले.

पण त्या शास्त्रज्ञांना असे काहीच पहावयास मिळाले नाही. एक वर्ष असेच गेले आणि सोविएत शास्त्रज्ञ ओ. इ. झ्वीगिन्त्सेव व त्याच्या सहकाऱ्यांनी निर्विवादपणे सिद्ध केले की उरालमधल्या प्लॅटिनमयुक्त खाणमातीत नवी मूलद्रव्ये मुळीसुद्धा नाहीत. त्यानंतरही जर्मन शास्त्रज्ञांनी कोलंबाइट

खनिजप्रकारांचा अभ्यास चालूच ठेवला. ती वेगवेगळया घटकद्रव्यांची होती खरी पण पूर्वीच वर्तविल्याप्रमाणे त्यामध्ये गूढ ठरलेली व मँगॅनीजशी साम्य असलेली अशी मूलद्रव्ये असणे जरूरी होते. अज्ञात मूलद्रव्ये संपृक्तावस्थेत मिळविण्यासाठी त्यांनी अगदी गुंतागुंतीच्या रासायनिक अभिक्रियांचा अवलंब केला आणि क्ष-किरण वर्णपटतंत्रही वापरले. या प्रयत्नातून मिळालेली माहिती खूपशी जुळती ठरली पण निश्चित काही सांगणे योग्य ठरेल काय अशी शंका सारखी डोकावत होती. या शास्त्रज्ञांना क्र. ४३ व क्र. ७५ ही मूलद्रव्ये अल्प प्रमाणातच मिळाली. साहजिकच त्यांच्या गुणधर्मांचा प्रायोगिकदृष्टया अभ्यास करणे शक्य झाले नाही.

नोडॅक्सला मिळालेल्या निष्कर्षांचा पुन:प्रत्यय कोणालाच अनुभविता आला नाही. डब्ल्यु. प्रँट या त्याच्या स्वदेशबांधवाने ए. ग्रिम या आपल्या सहाय्यकास नोडॅक्सच्या प्रयोगशाळेत पाठविले व नोडॅक्स, मँगॅनीजशी साधर्म्य असणाऱ्या मूलद्रव्यांची निर्मिती कशी करतो याचा अभ्यास करावयास सांगितले. ते सारे तंत्र आत्मसात करून ग्रिम स्वगृही परतला आणि सारी प्रक्रिया परत करून पाहण्याच्या आणि त्यामध्ये परिपूर्णता आणण्याच्या प्रयत्नास लागला. या कामात निरर्थक वेळ घालविण्याचे दु:ख त्याने कसे सहन केले असेल ते त्याचे त्यालाच माहीत! इंग्लिश शास्त्रज्ञ एफ. लोरिंग व झेक शास्त्रज्ञ या. गेरोव्स्की व वाय. ड्रुस यांनीही नोडॅक्सच्या निष्कर्षांबद्दल शंका घेतली. पुढे लोरिंग, गेरोव्स्की आणि ड्रुस यांनी मूलद्रव्य क्र. ७५ च्या शोधाचे जनकत्व आपणाकडे घेतले. इतर पद्धतींनी व इतर खनिजांपासून ते मिळविल्याचा त्यांचा दावा होता. त्यांची नावे इतिहासाने नोंदली खरी पण ऱ्हेनिअमचे संशोधक म्हणून नव्हे.

वरील दोघा जर्मन शास्त्रज्ञांचा असा विश्वास होता की आपण मूलद्रव्य ४३ (पुढे टेक्निशिअम म्हणून ओळखले गेलेले) हेसुद्धा अलग करण्यात यशस्वी ठरलो आहोत. आज आपणास निश्चितपणे सांगता येते की त्या काळी कोणत्याही पद्धतीने त्यांचा शोध लावणे नोडॅक्सला केवळ अशक्य होते. नोडॅक्लसा मात्र ऱ्हेनिअमपेक्षा त्याच्याच शोधाची अधिक खात्री वाटत होती (हा प्रकार, नोडॅक्सला मानाचे पान देणारा कितपत ठरतो हे वाचकांनीच ठरवावे). जसजसा कालावधी जात होता तसतशी नोडॅक्सला जाणीव होत होती की विश्लेषणार्थ उपलब्ध असणाऱ्या खनिजांची व्याप्ती खूपच वाढविली पाहिजे. म्हणजेच पूर्वी वर्तविण्यात आलेली भूरासायनिक भाकिते वरवर

पाहता खरी ठरली नाहीत. १९२६ व १९२७ च्या उन्हाळयांमध्ये खनिजे गोळा करण्यासाठी नोडॅक्स नॉर्वेला गेला. त्यामध्ये टँटॅलाइट, गॅडोलिनाइट, ॲलिव्हाइट, फर्ग्युसोनाइट व मॉलिब्डेनाइट हे प्रकार होते. १९२८ च्या सुरुवातीस य शास्त्रज्ञांनी खनिजाचे विश्लेषण केले आणि मुख्यत: मॉलिब्डे-नाइटपासून (मॉलिब्डेनम सल्फाइडपासून) १२० मि. ग्रॅ. ऱ्हेनिअम अलग केले. यापूर्वी मँगॅनीजशी साधर्म्य असणाऱ्या मूलद्रव्याचे उद्‌गमस्थान म्हणून त्याचा कधीच वापर झाला नव्हता.

अखेर ऱ्हेनिअम सत्यसृष्टीत याप्रकारे अवतीर्ण झाले तर! त्यास Re हे चिन्ह दिले गेले आणि आवर्ती कोष्टकातील ७५ क्रमांकाची "खोली" त्यास कायमची बहाल करण्यात आली. मेसुरिअम मात्र फार काळापर्यंत एक कोडेच ठरले.

एकंदरीत ऱ्हेनिअमच्या शोधाची विश्वसनीय तारीख १९२८ हीच ठरते. त्याच्या दीर्घकालीन संशोधनातील तो अखेरचा टप्पा आहे. त्याच्या इति-हासातील १९२५ ही जी तारीख आहे ती केवळ एक महत्त्वाच्या घटनेची नोंद करणारी म्हटली पाहिजे.

संशोधनाची आपली दिशा ठरविल्यानंतर तथाकथित एका-मँगॅनीज मूलद्रव्यांच्या शोधास आधारभूत असे सारे लेखन नोडॅक्सने एकत्र जमविले होते. नोडॅक्सच्या टिपणासहित ते सारे साहित्य दुसऱ्या महायुद्धाच्या काळात गहाळ झाले, पण या मूलद्रव्यास दिलेले "डेव्हीअम" हे नाव व रशियन शास्त्रज्ञ एस. एफ. कर्न याचे नाव त्या लेखनात निश्चितपणे दिलेले होते. सर्व अविश्वसनीय शोधांमध्ये हा सर्वात जास्त विश्वसनीय शोध म्हटला पाहिजे. तसेच अशीही दाट शक्यता वाटते की मूलद्रव्य क्र. ७५ चा इतिहास ५० वर्षांपूर्वीच सुरू झाला असला पाहिजे.

त्यातील घटना क्रमवारीने अशा सांगता येतील. १८७७ मध्ये, डेव्हीच्या सन्मानार्थ "डेव्हीअम" नाव दिलेल्या एका नव्या मूलद्रव्यावरील लेखन अवतीर्ण झाले. त्यामुळे फार मोठे कुतुहल निर्माण झाले व मेंदेलेयेवने एस. एफ. कर्न यास निमंत्रण देऊन सुचविले की त्याने रशियन केमिकल सोसाय-टीपुढे आपला अहवाल वाचावा. हायडेलबर्ग येथे असणाऱ्या बुन्सेनच्या प्रयोग-शाळेतील शास्त्रज्ञांनी ठरविले की कर्नचे निष्कर्ष काळजीपूर्वक तपासून पहा-वेत. पुढे आणखीही दोघातिघा शास्त्रज्ञांनी कर्नचे निष्कर्ष अचूक असल्याचे ठरविले. त्यातील अत्यंत कुतूहलजनक बाब ही की त्यापैकी काही रासायनिक

प्रक्रिया ऱ्हेनिअमशी अगदी मिळत्याजुळत्या आढळल्या. यावरून असेच निष्पन्न होत नाही का की डेव्हीअम म्हणजे ऱ्हेनिअम असावे?

कारणे कोणतीही असोत पण एस. एफ. कर्न यांचे लक्षच या संशोधनातून उडाले व १८७८ नंतर या प्रश्नाकडे ते परत वळलेच नाहीत. त्यांनी वरील मूलद्रव्य प्लॅटिनम खनिजांपासून मिळविले होते. आजच्या आधुनिक दृष्टीकोनातून ते अशक्य ठरते (झ्वीगिन्त्सेवचे १९२६ मधील संशोधन आठवा). वस्तुस्थिती अशी आहे की प्लॅटिनमची खनिजे अगदी जटिल संरचनेची व वेगवेगळया घटकद्रव्यांनी युक्त अशी आढळतात. उराल पर्वतातील खनिजात ऱ्हेनिअम आढळत नाही हे खरे पण इतर साठ्यांमध्ये अंशमात्र स्वरूपात ते जरूर सापडते.

एस. एफ. कर्न यांनी बोर्निओत आढळलेला एक अत्यंत दुर्मिळ असा प्लॅटिनम खनिजाचा नमुना अभ्यासिला होता. खरे तर तेथल्या खाणी त्यापूर्वीच बंद पडल्या होत्या. २० व्या शतकाच्या सुरुवातीस या बेटावर जी. चेर्निक या रशियन शास्त्रज्ञाने संशोधनकार्य केले होते. त्यास आढळलेल्या प्लॅटिनम खनिजांचे विश्लेषण केले असता साऱ्या नमुन्यात एक ठराविक प्रमाणात घट येते असे त्याच्या निदर्शनास आले. कोणत्यातरी अज्ञात मूलद्रव्याच्या अस्तित्वामुळे ही घट येत असावी असे त्याने प्रतिपादित केले. शक्य आहे की कर्नचे "डेव्हीअम" हेच ते मूलद्रव्य असावे.

डेव्हीअमवर लिहिलेला एक विस्तृत लेख वाय. ड्रुसने १९५० मध्ये प्रसिद्ध केला. त्याने लिहिले होते की प्लॅटिनम खनिजात जर ऱ्हेनिअम आढळले तर कर्नचा शोध पक्का ठरणे शक्य झाले असते. बोर्निओतील प्लॅटिनमखनिजांचे नमुने आज केवळ एखाद्या वस्तुसंग्रहालयातच पहावयास मिळतील. तरीपण त्यांचे काटेकोर विश्लेषण करणे मोठे फायदेशीर ठरेल. हे असे उदाहरण आहे की ज्यायोगे रासायनिक मूलद्रव्यांचा इतिहास अंशतः बदलण्याची शक्यता आहे.

प्रकरण ११ वे

किरणोत्सारी मूलद्रव्ये

निसर्गात आढळणाऱ्या युरेनिअम व थोरिअम या दोन किरणोत्सारी मूलद्रव्यांबद्दल आपण पूर्वीच चर्चा केली आहे (प्रकरण ४) . खनिजामध्ये ही मूलद्रव्ये साधारणतः बऱ्यापैकी आढळतात आणि त्यांचा अंशही भरपूर प्रमाणात असल्यामुळे रासायनिक विश्लेषणाद्वारे अलगही करता येतात. इतर जी किरणोत्सारी मूलद्रव्ये निसर्गात सापडतात (पोलोनिअम, रेडॉन, रेडिअम, ॲक्टिनिअम आणि प्रोटक्टिनिअम) ती पृथ्वीवर अगदी अल्पांशात आढळणाऱ्या मूलद्रव्यांपैकीच आहेत. युरेनिअम व थोरिअम यांची ती किरणोत्सारी रूपांतरणे असल्यामुळेच केवळ त्यांचे अस्तित्व निसर्गात पहावयास मिळते.

आवर्ती पद्धतीच्या अखेरीस या मूलद्रव्यांच्या जागा आहेत व ती रासायनिक विश्लेषण किंवा वर्णपटीय विश्लेषण अशा कोणत्याच पद्धतीने ठरविता येत नाहीत. ज्या ज्या खनिजात युरेनिअम व थोरिअम आढळते त्या सर्वांमध्ये वरील मूलद्रव्येही असतातच पण शास्त्रज्ञांच्या मनात एकदाही संशय आला नाही की युरेनिअम व थोरिअममध्ये कोणतीतरी अशुद्ध द्रव्ये असावीत. हे खरे की अशुद्धता थोड्याफार प्रमाणात नेहमीच असते पण त्यांचा अंश एवढा कमी की त्यामुळे वजनात काही फेरफार पडेल किंवा एखादी नवी रेषा वर्णपटात अवतीर्ण होईल याची शक्यता कमीच.

तर मग ही नवी मूलद्रव्ये ज्ञात कशी झाली ? तर किरणोत्सारी या एका नव्या भौतिक आविष्काराच्या शोधामुळे. त्यामुळे शास्त्रज्ञांच्या हातात एक नवी पद्धत वा साधन उपलब्ध झाले. परिणामी पदार्थांचे गुणधर्म व संरचना याविषयी असणाऱ्या आपल्या ज्ञानात मोलाची भर तर पडलीच पण आवर्ती पद्धतीमध्ये अंतर्भूत असणाऱ्या रासायनिक मूलद्रव्यांच्या संख्येतही वाढ झाली. किरणोत्सार गुणधर्मांच्या सुरुवातीच्या अभ्यासात तीन प्रकारचे प्रारण दृष्टोत्पत्तीस आले: आल्फा किरण (हेलिअम अणुगर्भाचे स्रोत, ज्यावर दोन

धन प्रभार असतो) बीटा किरण (इलेक्ट्रॉनचे स्रोत ज्यावर एक ऋण प्रभार असतो) आणि गॅमा किरण (हे वस्तुतः क्ष-किरणांशी मिळतेजुळते असतात).

प्रत्येक किरणोत्सारी मूलद्रव्य त्याच्या विशिष्ट अशा अर्धायु-कालाद्वारे निर्देशित केले जाते. किरणोत्सारी मूलद्रव्याची प्रारंभिक राशी निम्म्याने विघटित होण्यास लागणारा काल म्हणजेच त्या मूलद्रव्याचे अर्धायु होय.

पोलोनिअम

रेडिओमिती तंत्राद्वारे शोधण्यात आलेले पोलोनिअम हे पहिले नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्य होय. पूर्वी १८७० मध्ये त्याच्या प्रमुख गुणधर्मांचे विवेचन डी. आय. मेंदेलेयेवने केलेच होते. तत्संबंधी तो लिहितो : "वजनदार धातूंच्या समवेत आपणास अशा एका मूलद्रव्याची अपेक्षा आहे की जे टेल्युरिअमसदृश असेल आणि ज्याचा अणुभार बिस्मथपेक्षा जास्त असेल. ते धातुरूप गुणधर्मांचे असेल व सल्फ्युरिक आम्लाप्रमाणे गुणधर्म व संरचना असणारे आम्ल त्यापासून तयार होईल. टेल्युरिक आम्लापेक्षा ते अधिक ऑक्सिडिकारक असणे अगदी शक्य वाटते... टेल्युरस आम्लास अद्यापी असणाऱ्या आम्लताविषयक गुणधर्मांची अपेक्षा RO_2 बद्दल ठेवता येणार नाही. या मूलद्रव्यापासून कार्बनधात्विक संयुग शक्य आहेत पण हायड्रोजनसंयुगे मात्र मिळणार नाहीत..."

एकोणीस वर्षे उलटली आणि आपल्या द्वि-टेल्युरिअमच्या (अज्ञात मूलद्रव्यास मेंदेलेयेवने दिलेले नाव) विवरणात त्याने बरीच भर घातली. यावेळी त्याने पुढील गुणधर्म सुचविले : सापेक्ष अणुवस्तुमानांक, २१२; DtO_2 हे ऑक्साइड शक्य ; मुक्त अवस्थेत हे मूलद्रव्य स्फटिकमय, खालच्या वितळण तपमानाचे, अबाष्पनशील असा करड्या रंगाचा धातू असेल व त्याची घनता ९. ८ शक्य आहे. हा धातु सहजगत्या DtO_3 मध्ये ऑक्सिडन पावेल व या ऑक्साइडचे सौम्य असे आम्लधर्मी व अल्कधर्मी गुणधर्म असतील. या मूलद्रव्याचे हायड्राइड असेलच तर ते अस्थिर स्वरूपाचेच असणार. हे मूलद्रव्य व इतर धातू यांचे मिश्रधातू नक्कीच तयार होतील.

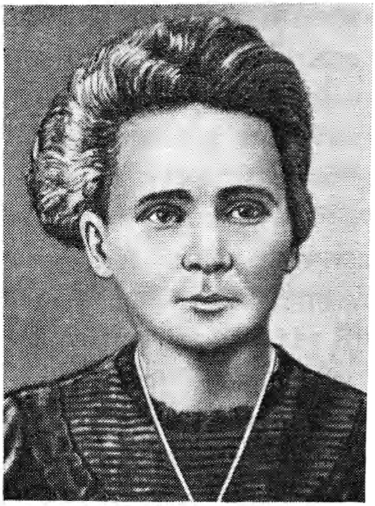
टेल्युरिअमशी साधर्म्य असणाऱ्या मूलद्रव्याच्या गुणधर्मांबाबत मेंदेलेयेवने जी भाकिते केली ती कितपत अचूक ठरतात हे वाचक स्वतःच पाहू शकतील.

पण या भाकितांचा परिणाम पोलोनिअमच्या इतिहासावर झालाच असेल तर तो केवळ अप्रत्यक्ष स्वरूपाचाच असावा. पण पोलोनिअमचा (आणि नंतर रेडिअमचा) शोध म्हणजे किरणोत्सार विज्ञानाच्या क्षेत्रात एक अत्यंत महत्त्वाचा असा टप्पा ठरला आणि या शाखेच्या विकासास भरपूर चालना मिळाली

मेरी क्यूरी व पेरी क्यूरी यांनी प्रयोगशाळेतील कामाबद्दल जी रोजनिशी ठेवली होती ती पाहिल्यास असे दिसून येईल की बेक्वेरल-किरण म्हणजेच, युरेनिअम-किरणांच्या अभ्यासाने त्यांनी आपले संशोधन १६ डिसेंबर १८९७ रोजी सुरू केले. सुरुवातीस मेरीने एकटीनेच काम केले. आणि या कामात ५ फेब्रुवारी १८९८ रोजी पेरी क्यूरीही सहभागी झाला. तो मोजमापाच्या कामात भाग घेई आणि मिळालेले निष्कर्ष तपासून त्यावर संस्कार करे. त्यांनी प्रामुख्याने निरनिराळया युरेनिअम-खनिजांच्या, क्षारांच्या तसेच धातुरूप युरेनिअमच्या प्रारण-तीव्रतेबाबत मोजमाप केले. या विस्तृत अशा प्रायोगिक कामातून असे निष्पन्न झाले की युरेनिअम-संयुगाचे किरणोत्सरण सर्वात कमी, धातुरूप युरेनिअमचे त्यापेक्षा वरच्या मूल्याची तर पिच ब्लेंडी नामक खनिजाचे अत्यधिक आढळले. हे निष्कर्ष असे सुचवितात की युरेनिअमपेक्षाही कितीतरी जास्त किरणोत्सारण असणारे एखादे मूलद्रव्य पिचब्लेंडीमध्ये बहुधा असावे.

१२ एप्रिल १८९८ एवढया पूर्वी आपला हा सिद्धान्त क्यूरी पतीपत्नींनी पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसच्या सभेत सादर केला. १४ एप्रिल रोजी जी. बेमाँट याच्या सहाय्याने या अज्ञात मूलद्रव्याच्या शोधकार्यास या दोघांनी सुरुवात केली. जुलैच्या मध्यापावेतो त्यांनी पिचब्लेंडीवरील विश्लेषण-कार्य पुरे केले. खनिजापासून क्रमवारीने मिळालेल्या अवशेषांची किरणोत्सार प्रवृत्ती त्यांनी फार काळजीपूर्वक मोजली. बिस्मथ क्षार असणाऱ्या अवशेषांनी त्यांचे विशेष लक्ष वेधून घेतले, कारण धातुरूप युरेनिअम प्रारणाच्या ४०० पट तीव्र असे त्या अवशेषाचे प्रारण असल्याचे निष्पन्न झाले. अज्ञात मूलद्रव्य जर खरोखरीच अस्तित्वात असेल तर ते याच अवशेषात असावयास हवे...

अखेर मेरी व पेरी क्यूरी यांनी पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसच्या सभेच्या प्रसंगी, "पिचब्लेंडी खनिजात असणारे एका नवे किरणोत्सारी मूलद्रव्य" हा आपला अहवाल सादर केला. त्यामध्ये त्यांनी असे सांगितले की



एम. क्यूरी

पिचब्लेंडी खनिजातील एका धातूचे अतिशय क्रियाशील असे गंधकयुक्तसंयुग अलग करण्यात आपण यशस्वी ठरलो आहोत. त्याच्या विश्लेषणातून जे निष्कर्ष मिळतात त्यावरून हा धातू बिस्मथचा सहचारी वाटतो. यावेळी क्यूरी दांपत्याने असेही सुचविले की हा शोध जर सिद्ध झाला तर मेरी ज्या देशात जन्मली व वाढली त्या पोलंड देशाच्या स्मरणार्थ त्यास पोलोनिअम असे नाव दिले जावे.

या शास्त्रज्ञांनी असेही प्रतिपादन केले की हे मूलद्रव्य एका नव्या संशोधनप, तीच्या सहाय्याने (म्हणजेच आज सर्वसामान्य ठरलेल्या किरणोत्सारी पद्धतीने) शोधण्यात आले. या अहवालात सदरहू संज्ञा प्रथमच वापरली गेली.

या खास तंत्रामुळे नैसर्गिक पदार्थांमध्ये असणाऱ्या पण न दिसणाऱ्या, न जाणवणाऱ्या आणि न मोजता येणाऱ्या मूलद्रव्यांचे अस्तित्व जाणणे शक्य झाले. या वेळी इतिहासाची पुनरावृत्तीच झाल्याचे दिसते पण यावेळी निर्देशकाचे काम किरणोत्सारी प्रारणाने केले असून रेडिओमिती तंत्राने त्याचे मोजमाप करणे शक्य असते. तथापि, क्यूरी दांपत्याचे निष्कर्ष निर्दोष नव्हते.

पोलोनिअम आणि बिस्मथ हे जे रासायनिक साम्य त्यांनी सुचविले ती त्यांची चूक होती. आवर्ती पद्धतीकडे जरी एक दृष्टीक्षेप टाकला तरी तात्काळ दिसून येईल की बिस्मथचे समानधर्मी व वजनदार असे मूलद्रव्य अस्तित्वात असणे अगदी अशक्य आहे. पण हे विसरून चालणार नाही की क्यूरींनी शुद्ध स्वरूपात हा धातू मिळविलेला नव्हता, त्याचा अणुवस्तुमानांक ठरविला नव्हता आणि पोलोनिअम व बिस्मथ यांचे वर्णपटही तपासले नव्हते किंवा त्यातील फरकही पाहिले नव्हते. यामुळेच त्यांनी पोलोनिअम व टेल्युरिअम यांच्यात शक्य वाटणारे साम्य दुर्लक्षित केले.

यासाठीच १८ जुलै १८९८ ही तारीख म्हणजे पोलोनिअमची प्राथमिक शोध-तारीख समजली पाहिजे; प्रत्यक्ष शोधाने दीर्घकाळ घेतला आहे. खरे तर पोलोनिअमच्या तीव्र अशा प्रारणप्रवृत्तीमुळे त्याचा अभ्यास करणे अवघड ठरले होते. हे प्रारण म्हणजे बीटा किंवा गॅमा किरणांव्यतिरिक्त निव्वळ अल्फा किरणांचेच असल्याचे दृष्टोत्पत्तीस आले. असाही एक विचित्र प्रकार पाहण्यास मिळाला की पोलोनिअमची प्रारणप्रवृत्ती कालानुरूप कमी होते व ती सहज लक्षात येण्याएवढी असते. थोरिअम किंवा युरेनिअमबाबतीत मात्र तसे आढळत नाही. यामुळेच काही शास्त्रज्ञांनी, पोलोनिअम खरोखरीच अस्तित्वात असेल का अशी शंका व्यक्त केली. या संशयी व्यक्तींनी असेच म्हटले की ते साधेसुधेच पण अंशमात्र किरणोत्सारी पदार्थ असणारे बिस्मथच आहे.

पुढे १९०२ मध्ये जर्मन रसायनज्ञ डब्ल्यु. मार्कवाल्ड याने दोन टन युरेनिअम खनिजातील बिस्मथचा अंश अलग केला. बिस्मथ क्लोराइडच्या द्रावणात त्याने बिस्मथची सळई बुडवून ठेवली व तीवर तीव्र अशा किरणोत्सार पदार्थाचा साखा जमल्याचे पाहिले. ते एक नवे मूलद्रव्य आहे या भावनेने रेडिओटेल्युरिअम असे त्यास संबोधिले. याबाबत तो नंतर म्हणतो, "मी या पदार्थाचे नाव रेडिओटेल्युरिअम असे ठेवले ते त्या वेळेपुरतेच, कारण त्याच्या रासायनिक गुणधर्मांवरून असे दिसले की ते सहाव्या गटातील अद्यापी न व्यापलेल्या व बिस्मथपेक्षा काहीसा जास्त असा अणुभार असणाऱ्या मूलद्रव्याच्या घरात ठेवावे असे मला वाटते... हे मूलद्रव्य बिस्मथपेक्षा अधिक विद्युत-ऋण प्रवृत्तीचे पण टेल्युरिअमपेक्षा अधिक विद्युत-धन प्रवृत्तीचे होते, तसेच त्याच्या ऑक्साइडचे गुणधर्मसुद्धा आम्लधर्मी असण्याऐवजी अल्क-

धर्मीच असावयास हवेत. हे सारे रेडिओटेल्युरिअमशी मिळतेजुळते ठरते... या पदार्थांचा अपेक्षित अणुभार सुमारे २१०* होता."

तत्पूर्वी पोलोनिअम म्हणून शोधले गेलेले मूलद्रव्य म्हणजे अनेक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचे निव्वळ मिश्रण, असे मार्कवेल्डने ताबडतोब जाहीर केले. साहजिकच, पोलोनिअम व रेडिओटेल्युरिअम यांच्या खऱ्या स्वरूपाबद्दल वादळी मतभेद निर्माण झाले. बहुतेक शास्त्रज्ञांनी क्यूरी दांपत्यास पाठिंबा दर्शविला. या दोन मूलद्रव्यांबाबत नंतर जी छाननी झाली त्यातून त्यांचे खरे स्वरूप निष्पन्न झाले. क्यूरी दांपत्याकडे शोधाचे श्रेय गेले आणि "पोलोनिअम" हे नाव कायम झाले.

पोलोनिअम जरी पहिले नैसर्गिक व किरणोत्सारी मूलद्रव्य असले तरी त्याचे Po हे चिन्ह आवर्ती पद्धतीच्या योग्य जागेत आले नव्हते. या मूलद्रव्याचा अणुवस्तुमानांक मोजणे हे कठीण काम होते. पोलोनिअमच्या वर्णपटातील तत्संबंधी रेषा १९१० मध्ये निश्चित झाल्या. केवळ १९१२ मध्येच त्याच्या Po या चिन्हाने आवर्ती कोष्टकातील आपली जागा व्यापली.

अगदी अर्धशतकापावेतो शास्त्रज्ञांना पोलोनिअमच्या संयुगांवरच (व तीसुद्धा अल्प प्रमाणात उपलब्ध होती) संशोधन करण्यात समाधान मानावे लागले. शुद्ध धातू १९४६ मध्येच तयार करणे शक्य झाले. निर्वात-संप्लवन पद्धतीमार्गे धातुरूप पोलोनिअम स्तरयुक्त स्वरूपात मिळते व त्यास रूपेरी रंग असतो. हा धातू लवचिक, सहज वळविता येणारा असून त्याचा विलयबिंदू २५४ अंश से. व उत्कलनबिंदू ९६२ अंश से. असतो. दर घन से. मी. ग्रॅमचे वजन, म्हणजेच त्याची घनता ९.३ भरते. पोलोनिअम जेव्हा हवेत तापविले जाते तेव्हा स्थिर प्रवृत्तीचे ऑक्साइड सहजगत्या तयार होते व त्याचे आम्लधर्मी व अल्कधर्मी गुणधर्म सौम्य स्वरूपात दृग्गोचर होतात. पोलोनिअम हायड्राइट मात्र अस्थिर प्रकृतीचे आहे. अनेक संयुगांसह व धातूंसह (उदा.Pb, Hg, Ca, Zn, Na, Ag, Pt, Ni, Be) पोलोनिअमची कार्बनधात्विक संयुगे अस्तित्वात येतात. हे गुणधर्म मेंदेलेयेवच्या भाकितांशी जेव्हा आपण पडताळून पाहतो तेव्हा ते सत्यपरिस्थितीशी केवढे मिळतेजुळते ठरतात हे पहावयास मिळते.

---

*ए. एन. वॅल्टसेंव, ए. एन. क्रिवोमेजॉव, डी. एन. त्रिफोनोव यांच्या "डिस्प्लेसमेंट लॉ ॲण्ड आयसोटोपी" यातून. मॉस्को, १९७६ (रशियन भाषेत).

रेडिअम

क्यूरी दांपत्य व जी. बेमाँट जेव्हा पिचब्लेंडीचे विश्लेषण करीत होते तेव्हाच बिस्मथ-अवशेषाखेरीज आणखी एका उच्चतम किरणोत्सारिता असणाऱ्या अवशेषाने त्यांचे लक्ष वेधून घेतले होते. पोलोनिअम एकदा अलग केल्यानंतर मग ते ह्या दुसऱ्या अवशेषाचे विश्लेषण करण्यामागे लागले. त्यांची अशी कल्पना होती की कदाचित किरणोत्सारी अशा आणखी एका अज्ञात मूलद्रव्याचा शोध शक्य होईल.

या नव्या मूलद्रव्यास रेडिअम असे नाव देण्यात आले व ते लॅटिन शब्द रेडिअम म्हणजे किरण यावर आधारलेले आहे. २६ डिसेंबर १८९८ रोजी पॅरिस ॲकॅडेमी ऑफ सायन्सेसच्या सभासदांना "पिचब्लेंडीमध्ये असणाऱ्या अति तीव्र किरणोत्सारी अशा एका नव्या मूलद्रव्यावरील अहवाल" ऐकावयास मिळाला व तोच रेडिअमचा जन्मदिवस होय. या अहवालाच्या लेखकांनी असे सांगितले की युरेनिअम खनिजाच्या उर्वरित भागापासून एक नवे मूलद्रव्य वेगळे करण्यात ते यशस्वी झाले असून त्याचे एकंदर गुणधर्म बेरिअमशी बरेचसे जुळणारे आहेत. बेरिअम क्लोराइडमध्ये रेडिअमचा असलेला अंश, वर्णपटने नोंदण्यास पुरेसा होता. सुप्रसिद्ध वर्णपट-विश्लेषक इ. डेमॅर्सी या फ्रेंच तज्ज्ञाने हे काम केले. क्यूरी दांपत्याने जो अवशेष वेगळा मिळविला होता त्याच्या वर्णपटात डेमॅर्सीला एक नवी रेषा आढळली. अशा तऱ्हेने रेडिओमिती आणि वर्णपटविज्ञान या दोन्ही तंत्रांमार्फत अगदी एकाच वेळी एका नव्या किरणोत्सारी मूलद्रव्याच्या शोधास दुजोरा दिला गेला.

नैसर्गिक अशा किरणोत्सारी मूलद्रव्यांमध्ये (अर्थात थोरिअम व युरेनिअम वगळता) रेडिअमचे स्थान फारच वैशिष्टयपूर्ण असल्याचे अगदी ताबडतोब दिसून आले. त्याला कारणेही बरीच होती. रेडिअमचे अर्धायु खूपच दीर्घ कालावधीचे म्हणजे १६०० वर्षांचे असते असे निष्पन्न झाले. युरेनिअमच्या खनिजात रेडिअमचा अंश पोलोनिअमपेक्षा कितीतरी जास्त (४३०० पटींहून अधिक) आढळला, यामुळेच नैसर्गिकपणे रेडिअम साचणे शक्य झाले. आणखी असे की रेडिअममधून बाहेर पडणारे अल्फा किरणांचे प्रारण चांगल्या प्रकारे तीव्र असल्यामुळे निरनिराळया रासायनिक कार्यपद्धतीत त्याच्या वृत्तीचे सहजगत्या निरीक्षण करता येते. रेडिअमचे आणखी एक खास वैशिष्टय हे की त्यातून किरणोत्सारी वायू बाहेर पडतो (पृ. २२२.).

त्याच्या गुणधर्मांचा जो अनुकूल समुच्चय आढळतो त्यामुळे ते अभ्यासार्थ फार सोयीचे ठरले ; परिणामी आवर्ती पद्धतीत दीर्घकाल न लागता कायमची जागा मिळविणारे ते पहिले (युरेनिअम व थोरिअम यांना याही वेळी वगळता) किरणोत्सारी मूलद्रव्य ठरले. रेडिअमच्या रासायनिक तसेच वर्णपटीय अभ्यासातून प्रथमतः हे निष्पन्न झाले की सर्व बाबतीत ते अल्कधर्मी मृत्तिका-धातूंच्या उपगटात मोडते. दुसरे म्हणजे त्याचे सापेक्ष अणुवस्तुमान अगदी अचूकपणे ठरविणे शक्य झाले. त्यासाठी पुरेशा प्रमाणात रेडिअम मिळविणे अर्थातच जरूरी होते. याच हेतूने आपल्या अपुऱ्या साधनसामग्रीनिशी क्यूरी दांपत्य सतत ४५ महिने अविरतपणे काम करीत होते व त्याकामी बोहोमिअम खाणमातीचे उर्वरित अवशेष वापरले जात असत. त्यांनी सुमारे १०००० भागशः स्फटिकीकरणे केली आणि त्यातून अमूल्य असे रेडिअम क्लोराइड – ०.१ ग्रॅम वजनाचे – मिळविले. विज्ञानेतिहासास एवढ्या चिकाटीचे, उत्साहाचे व अविश्रांत परिश्रमाचे दुसरे उदाहरण ठाऊक नसेल. हे एवढे रेडिअम क्लोराइड मोजमापासाठी पुरेसे होते व २८ मार्च १९०२ रोजी मेरी क्यूरीने प्रकट केले की रेडिअमचे सापेक्ष अणुवस्तुमान २२५.९ आहे (सद्यकालीन हा आकडा २२६.०२ असून क्यूरीचा आकडा त्यापासून फारसा भिन्न नाही). आवर्ती पद्धतीत रेडिअमची जी जागा सुचविण्यात आली त्यादृष्टीने हा आकडा योग्यच ठरतो.

या शोधानंतर किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या शोधांचे जणू पेवच फुटले, आणि त्या पार्श्वभूमीवर रेडिअमचा शोध अधिकच प्रकर्षाने उठून दिसतो. दरवर्षी अधिकाधिक नवे शोध जाहीर होत होते. धातुरूपात मिळविले गेलेले पहिले किरणोत्सारी मूलद्रव्य म्हणूनही रेडिअमचाच पहिला क्रमांक ठरला.

मेरी क्यूरी व तिचा सहकारी ए. डेबर्नी यांनी, ०.१०६ एवढा अंश असणाऱ्या रेडिअम क्लोराइडच्या द्रावणाचे विद्युत अपघटन केले. धातुरूप रेडिअम पाऱ्याच्या कॅथोडवर पारदमिश्राच्या रूपात जमा झाले. या पारदमिश्रातील पारा वेगळा करण्यासाठी एका लोहपात्रात ते ठेवले गेले आणि हायड्रोजनच्या सान्निध्यात (प्रवाहात) तापविण्यात आले. काही वेळाने रूपेरी चमकते कण पात्राच्या तळाशी दिसू लागले.

रेडिअमचा शोध म्हणजे विज्ञानाचा एक मोठा नेत्रदीपक विजयच म्हटला पाहिजे. रेडिअमच्या अभ्यासामुळे पदार्थाचे गुणधर्म व संरचना यांच्या ज्ञानात

मूलभूत बदल घडून आले. याबरोबरच व्यवहारात उपयोग केले गेलेले (उदा. वैद्यकीय क्षेत्रात) असे पहिले मूलद्रव्यही रेडिअमच ठरले.

ॲक्टिनिअम

किरणोत्सारी मूलद्रव्यात पोलोनिअम व रेडिअम पहिल्या प्रथम शोधण्यात आलेली मूलद्रव्ये म्हणून ओळखण्यात येतात पण हा निव्वळ योगायोग म्हणावा का? वरवर पाहता याचे उत्तर नकारार्थी ठरते. आपल्या दीर्घ स्वरूपाच्या अर्धायूमुळे रेडिअम हे युरेनिअमच्या खनिजांत साचू शकते. पोलोनिअमचे अर्धायु अल्पसे (१३८ दिवस) खरे पण त्यातून वैशिष्टयपूर्ण अशा उच्च तीव्रतेचे आल्फा प्रारण बाहेर पडते. पोलोनिअमच्या शोधाने मतभेदांना वाव दिला पण ते लवकरच नाहीसे झाले.

किरणोत्सार या नव्या विज्ञानशाखेचा तिसरा विजय म्हणजे ॲक्टिनिअमचा शोध होय. रेडिअमच्या शोधानंतर क्यूरी पतिपत्नींनी लागलीच जाहीर केले की युरेनिअम खनिजात आणखीएक व अद्यापी अज्ञात असणारे मूलद्रव्य असण्याची शक्यता आहे. या कल्पनेचा पाठपुरावा करण्याचे काम त्यांनी ए. डेबर्नी या आपल्या सहकाऱ्यावर सोपविले.

डेबर्नीने शेपाचशे किलोग्रॅम युरेनिअम खनिजासह आपले संशोधन सुरू केले व त्यातील "क्रियाशील तत्व" वेगळे केले. त्याने युरेनिअम, रेडिअम, पोलोनिअम प्रथम अलग केले. त्यानंतर उरलेल्या अल्पशा अवशेषाची तपासणी केली. तेव्हा त्यामध्ये त्यास अल्पसा अंश अशा प्रकारचा आढळला की ज्याची प्रारणप्रवृत्ती युरेनिअमच्या प्रारणप्रवृत्तीपेक्षा कितीतरी अधिक (साधारणत: १००००० पटीत सांगता येणारी) आहे. सुरुवातीस डेबर्नीची अशी समजूत झाली की आत्यंतिक किरणोत्सारी असा हा पदार्थ रासायनिक गुणधर्मांच्या दृष्टीने टायटॅनिअमशी मिळताजुळता आहे. पण लवकरच त्यांनी आपले मत बदलले आणि थोरिअमशी त्याचे साधर्म्य असल्याचे सूचित केले. त्यानंतर १८९९ च्या हिवाळ्यात त्यांनी एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध जाहीर केला व त्यास ॲक्टिनिअम असे संबोधिले. (ग्रीक भाषेत त्याचा अर्थ 'प्रारण' असा होतो).

कोणत्याही क्रमिक पुस्तकात, संदर्भ ग्रंथात किंवा ज्ञानकोशात ॲक्टिनिअमच्या शोधाची १८९९ हीच तारीख दिलेली आढळते. पण डेबर्नीने १८९९

मध्ये एका नव्या व किरणोत्सारी मूलद्रव्याचा – ॲक्टिनिअमचा – शोध लावला असे म्हणणे म्हणजे एक अत्यंत महत्त्वपूर्ण असा पुरावा स्वच्छ नाकारणे असेच ठरते.

खऱ्याखुऱ्या ॲक्टिनिअमचे थोरिअमशी साम्य असे नाहीच. पण रासायनिक फरक हा काही आमचा डेबर्नीच्या शोधाविरुद्धचा पुरावा नव्हे. आमचा पक्ष पुढीलप्रमाणे आहे. डेबर्नीची अशी समजूत होती की ॲक्टिअम आल्फा-प्रवृत्तीचे आणि त्याची ही कार्यशीलता युरेनिअमपेक्षा १०० ००० पटीने अधिक आहे. आज आपणास माहीत झाले आहे की ॲक्टिनिअम खरे तर सौम्य स्वरूपाचे बीटा-किरण उत्सर्जित करणारे मूलद्रव्य आहे. म्हणजेच त्यातून बाहेर पडणारे बीटाकिरण बऱ्याच अल्प ऊर्जेचे असतात व त्यांचे मोजमाप करणे ही काही तितकीशी सोपी गोष्ट नव्हे. डेबर्नीच्या वेळी उपलब्ध असणारी रेडिओमितीविषयक उपकरणे जुजबी स्वरूपातील होती व त्यांच्या सहाय्याने वरील प्रकारचे मोजमाप करणे डेबर्नीस शक्यच नव्हते.

मग डेबर्नीने काय शोधले? तर ॲक्टिनिअम ज्यास म्हटले गेले ते ॲक्टिनिअमचा काही अंश असणारे व किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचे अति जटिल असे मिश्रण होते. पण ॲक्टिनिअमच्या ऱ्हासातून तयार होणाऱ्या पदार्थातून जे अल्फा किरण उत्सर्जित होत त्यांच्या पार्श्वभूमीवर ॲक्टिनिअमचे क्षीण असे बीटा किरणांचे होणारे प्रारण ध्यानात येणे शक्यच नव्हते. वरील मिश्रणापासून खुद्द ॲक्टिनिअम अलग करण्यास कित्येक वर्षे जावी लागली.

१९११ मध्ये एफ. सॉडी या श्रेष्ठ ब्रिटिश रेडिओ-रसायनज्ञाने "किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचे रसायनशास्त्र" हा ग्रंथ प्रकाशित केला. त्यामध्ये, 'जवळ-जवळ अज्ञात' असेच ॲक्टिनिअमचे वर्णन आहे. तो लिहितो की ॲक्टिनिअमचा अणुभार माहीत नव्हता, सरासरी आयूचेही ज्ञान नव्हते, त्यातून किरणांचे प्रारण होत नाही (या विधानामुळे असेच सिद्ध होते की ॲक्टिनिअमचे बीटा-प्रारण मोजणे किती अवघड बाब होती) आणि त्याचा मूळ पदार्थ ठाऊक नव्हता. थोडक्यात, ॲक्टिनिअमबद्दल केवढीतरी संदिग्धता होती.

ॲक्टिनिअमच्या आपल्या शोधाबाबत डेबर्नीने पुरावे अथवा संशोधन सादर केले ते त्याच्या समकालीन व्यक्तींना पटले नाही. अशा परिस्थितीत एफ गिसेल नामक आणखी एका जर्मन रसायनज्ञाने एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध लागल्याचे जाहीर केले. त्यानेही एक किरणोत्सारी पदार्थ अलग केला

होता व त्याचे गुणधर्म मृदवर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांशी मिळतेजुळते होते. या नव्या मूलद्रव्यास गिसेलने एमेनिअम असे नाव दिले कारण त्यातून किरणोत्सारी वायू उत्सर्जित होत असे व त्यामुळे झिंक सल्फाइडचा पडदा चमकत असे. हा शोध जाहीर होताच, रेडिओ-टेल्युरिअम व ॲक्टिनिअम याबाबत जसा वाद निर्माण झाला तसाच वाद एमेनिअम-ॲक्टिनिअम बाबतही निर्माण झाला. पहिल्या वादातील मतभेद संबंधित मूलद्रव्यांची ओळख पटल्यामुळे संपुष्टात आले, पण दुसरा वाद गुंतागुंतीचा ठरून तो लवकर मिटण्याची चिन्हे दिसेनात. या तिसऱ्या व नव्या किरणोत्सारी मूलद्रव्याचे (एमेनिअमचे) गुणधर्म खूपच उलटेसुलटे दिसत होते. ॲक्टिनिअमच्या शोधाचा जनक म्हणून डेबर्नीचे नाव इतिहासात नोंदले गेले खरे पण गिसेलने जो पदार्थ अलग केला होता त्यामध्ये शुद्ध ॲक्टिनिअमचा अंश चांगल्या प्रमाणात आला होता व तसे पुढे सिद्धही झाले. एमेनिअमचा वर्णपट निरीक्षण्याच्या कामीही गिसेल यशस्वी ठरला. बऱ्याच शास्त्रज्ञांची त्यामुळे खात्रीही झाली की एमेनिअम व ॲक्टिनिअम एकमेकांशी जुळते आहेत. मग क्रमाक्रमाने मतभेदांची धार कमी होत गेली.

या मूलद्रव्याचे Ac हे चिन्ह आवर्ती पद्धतीच्या तिसऱ्या गटात ठेवण्यात ए. कॅमेरॉन हा ब्रिटिश रेडिओ-रसायनज्ञ सर्वप्रथम ठरला (१९०९). तत्संबंधी शास्त्रास रेडिओ-रसायनशास्त्र असे नाव देण्यासही कॅमेरॉनच जबाबदार आहे. एवढे झाले तरी ॲक्टिनिअमचे आवर्ती पद्धतीतील स्थान विश्वसनीयरीत्या प्रस्थापित होण्यास १९२३ साल उजाडावे लागले. शुद्ध ॲक्टिनिअम जेव्हा भरपूर प्रमाणात उपलब्ध झाले तेव्हा एक विस्मयजनक परिस्थिती उघड झाली. ॲक्टिनिअममधून जे प्रारण होते ते एवढे क्षीण स्वरूपाचे असते की त्यातून प्रारण होतच नाही अशी शंका काही शास्त्रज्ञांनी घेतली. असेही सुचविले गेले की अगदी वेगळयाच व प्रारणरहित पदार्थात ॲक्टिनिअमचे रूपांतर होत असावे. १९३५ साल उजाडल्यानंतरच ॲक्टिनिअममधून होणाऱ्या बीटा किरणांचे प्रारण विश्वसनीयरीत्या मोजणे शक्य झाले. ॲक्टिनिअमचे अर्धायु २१.६ वर्षांचे असल्याचेही सिद्ध केले गेले.

फार दीर्घ काळापर्यंत धातुरूप ॲक्टिनिअमची निर्मिती अशक्यप्राय ठरली होती. हे खरेच आहे की एक टन पिचब्लेंडी खनिजात ०.१५ मि. ग्रॅ. ॲक्टिनिअम असते तर रेडिअम ४०० ग्रॅम एवढे अत्याधिक सापडणे शक्य असते. धातुरूप ॲक्टिनिअम काही मिलिग्रॅममध्ये मिळविता आले पण त्यास

१९५३ साल उजाडावे लागले. पोटॅशिअम बाष्पाच्या सान्निध्यात ॲक्टि-निअम क्लोराइडचे संक्षेपण करून ते मिळविले गेले.

रेडॉन

रेडॉन, Rn हे अवर्ती पद्धतीतील ८६ या क्रमांकाचे मूलद्रव्य आहे. अक्रियाशील वायूंपैकी तो अत्यधिक वजनाचा वायू होय. तो अतिशय किरणोत्सार प्रवृत्तीचा असून त्याची नैसर्गिक विपुलता एवढी अल्पशी भरते की डब्ल्यु. रॅम्से व एम. ट्रॅव्हर्स यांनी जरी इतर अक्रियाशील वायू शोधले तरी रेडॉनचे अस्तित्व काही त्यांना सिद्ध करता आले नाही. केवळ रेडिओ-मिती तंत्राचा वापर केल्यामुळेच रेडॉनचा शोध शक्य झाला.

आज आपणास जो रेडॉन म्हणून माहीत आहे ते वस्तुतः मूलद्रव्य क्र. ८६ च्या समस्थानियांचे एकत्रित नाव आहे. त्यांचे एकापाठोपाठ एक याप्र-माणे शोध लागत गेले व त्यांना एमॅनेशन म्हटले गेले. ते अवतीर्ण झाल्या-मुळे किरणोत्सारच्या अभ्यासात एक नवे पान उघडले गेले कारण किरणो-त्सारी पदार्थात वायुमय असे ते पहिलेच पदार्थ होते.

१८९९ च्या सुरुवातीच्या काळात इ. रूदरफोर्ड (हे त्यावेळी कॅनडात रहात होते) व त्यांचा सहकारी आर. ओवेन्स यांनी थोरिअम संयुगांची कार्यशीलता अभ्यासली. एकदा ओवेनने जेथे त्यांचे प्रयोग चालत त्या प्रयोग-शाळेचे दार चुकून सताड उघडे ठेवले. यावेळी हवेचा जोरदार झोत वाहत होता. त्या प्रयोगकर्त्यांच्या लक्षात आले की थोरिअमच्या प्रारणाची तीव्रता एकाएकी मंद झाली आहे. सुरुवातीस त्यांनी या प्रकाराकडे दुर्लक्ष केले पण नंतर त्यांच्या ध्यानात आले की हवेच्या थोड्याशा हालचालीमुळे थोरिअमची कार्यप्रवृत्ती खूपच प्रमाणात लुप्त होते.

रूदरफोर्ड व ओवेन्स यांनी मग असा निष्कर्ष काढला की थोरिअम किरणोत्सारी अशा वायूचे सतत उत्सर्जन करत असावा. त्यास त्यांनी थोरॉन म्हणजे थोरिअमचे उत्सर्जन ('प्रवाह' या अर्थी लॅटिन शब्द) असे नाव दिले. सादृश्यतेनुसार असे सुचविले गेले की इतर किरणोत्सारी पदार्थांपासू-नही असे प्रवाह निर्माण होत असावेतच. १९०० मध्ये जर्मन भौतिकशा-स्त्रज्ञ इ. डॉर्न याने रेडिअमपासून उत्सर्जित होणारा प्रवाह शोधून काढला आणि तीन वर्षांनंतर डेबर्नीने ॲक्टिनिअमपासून होणाऱ्या वायूचे – प्रवाहाचे –

उत्सर्जन शोधून काढले. याप्रमाणे रेडॉन व ॲक्टिनॉन अशी दोन नवी किरणोत्सारी मूलद्रव्ये शोधण्यात आली. त्यांच्याबद्दलचे एक महत्त्वपूर्ण निरीक्षण असे की हे तिन्ही प्रवाह किंवा प्रारण केवळ त्यांच्या अर्धायूंबाबतच फरक असणारे होते – थोरॉनचे ५१.५ सेकंद, रेडॉनचे ३.८ दिवस आणि ॲक्टिनॉनचे ३.०२ सेकंद अशी अर्धायू निष्पन्न झाली. सर्वात अधिक अर्धायूचे रेडॉन हेच मूलद्रव्य असल्यामुळे प्रवाहविषयक अभ्यासासाठी त्याचाच वापर करण्यात आला; त्यांचे इतर सारे गुणधर्म समानधर्मी ठरले. त्या साऱ्याची रासायनिक क्रियाशीलता दृग्गोचर झाली नाही म्हणजेच ते अक्रियाशील वायू होते (अर्गॉन व इतरांप्रमाणे). नंतर त्यांचे अणुवस्तुमानांक भिन्नभिन्न आढळले. पण या तिन्ही मूलद्रव्यांसाठी आवर्ती कोष्टकात मात्र एकच जागा दिली गेली, ती म्हणजे झेनॉनच्या लगेच खाली.

अशी ही विशेष परिस्थिती लवकरच नियम ठरला. यासाठीच किरणोत्सारितेच्या इतिहासातील काही महत्त्वपूर्ण घटनांचा थोडक्यात का होईना पण परामर्श घेणे जरूर आहे. रेडॉनची कथा आता संपविणे अगत्याचे आहे. हे नाव टिकून राहिले याचे कारण हेच की किरणोत्सारी व निष्क्रिय वायूंमध्ये जास्त अर्धायू असणारे तेच एक मूलद्रव्य आहे. त्यास निटॉन ('चमकणे' अशा अर्थी ग्रीक शब्द) हे नाव द्यावे असे रॅम्सेनी सुचविले, पण ते संमत झाले नाही.

किरणोत्सारी मूलद्रव्ये व त्यांची कुटुंबे

पोलोनिअम व रेडिअम यांच्या शोधांपूर्वी आवर्ती पद्धतीत बिस्मथ ते युरेनिअम अशा सात जागा रिकाम्या होत्या. नव्याने शोधल्या गेलेल्या किरणोत्सारी मूलद्रव्यांची संख्या छोटीशी होती तेव्हा आवर्ती पद्धतीतील त्यांच्या जागेबाबत काहीच समस्या उद्‌भवली नाही. पण वर उल्लेखिलेला प्रवाहाचा म्हणजेच वायू-प्रारणाचा प्रवेश होताच मोठी अडचणीची समस्या निर्माण झाली. त्यांचे गुणधर्म समान होते, म्हणूनच आवर्ती पद्धतीतील वेगवेगळ्या जागा देणे शक्य नव्हते, उदाहरणार्थ आयोडिन व सिशीअम यांच्या वजनदार अशा समानधर्मी मूलद्रव्यांसाठी असणाऱ्या दोन जागा. हे असे करणे नैसर्गिक स्वरूपाचे झाले नसते.

पण पेचप्रसंगात टाकणारे रेडॉन कुटुंब जरी आपण एकवेळ विचारात

घेतले नाही तरी प्रश्न सुटत नव्हता. १९०० मध्ये डब्ल्यु. क्रुक्स याने एक मोठा चमत्कारिक आविष्कार अनुभवला. युरेनिअम संयुगांचे भागश: स्फटिकीकरण केल्यानंतर त्यास गळण आणि साका मिळाला. युरेनिअम द्रावणात राहिले पण ते कोणतीच क्रियाशीलता दर्शवित नव्हते पण साख्यात जरी युरेनिअम आले नव्हते तरीसुद्धा उच्च तीव्रतेची प्रारणक्रिया दर्शविली जात होती. आपल्या अनुभवांच्या जोरावर क्रुक्सने अगदी विरोधाभासी निष्कर्ष काढला की युरेनिअम स्वत: किरणोत्सारी नव्हते तर त्याची किरणोत्सारिता कोणत्यातरी भेसळीमुळे प्रकट झाली व ही भेसळ युरेनिअमपासून अलग करण्यात आपणास जमले. जणू काही त्यास अनिष्ट असा आगाऊ इषारा मिळाल्यानुसार या भेसळीस निश्चित असे नाव देण्याचे त्याने टाळले व नुसतेच क्ष-युरेनिअम (युरेनिअम-एक्स) असे म्हटले. पुढे असे आढळले की क्ष-युरेनिअम (UX) अलग केल्यानंतर युरेनिअमची कार्यशीलता पुनर्प्रस्थापित होते. हा UX ही तेवढाच किंवा जास्तच क्रियाशील पदार्थ आढळला. म्हणजेच UX हे एक नवे मूलद्रव्य समजणे शक्य आहे.

दोन वर्षांनंतर, थोरिअमच्या बाबतीतही त्याची क्रियाशीलता अशाच प्रकारे तात्पुरती नाहीशी होते असा इ. रूदरफोर्ड व एफ. सॉडी यांनी शोध लावला. त्यास जबाबदार असणाऱ्या भेसळीस (सादृश्यतेनुसार) थोरिअम-एक्स (क्ष-थोरिअम, ThX) म्हटले गेले. रूदरफोर्ड व सॉडी यांनी मग एका मूलभूत प्रश्नास हात घातला: प्रारणाच्या क्रियेत किरणोत्सारी मूलद्रव्याच्या संबंधात कोणती घडामोड किंवा कोणता बदल घडून येत असावा? मूलद्रव्याचे रासायनिक स्वरूप जसेच्या तसे राहत असेल की बदलत असेल? या दोघा शास्त्रज्ञांनी एक महत्त्वपूर्ण असे निरीक्षण केले की थोरिअममधील वायुप्रारण ThX मुळे होते, खुद्द थोरिअममुळे नव्हे. वेगळया शब्दात असे सांगता येईल: किरणोत्सारी रूपांतरणाची पहिली पायरी त्यांनी शोधून काढली:

$$Th \longrightarrow ThX \longrightarrow EmTh$$

म्हणजेच थोरिअमचे क्ष-थोरिअममध्ये (ThX मध्ये) रूपांतरण व नंतर क्ष-थोरिअमचे वायू-प्रारण करणाऱ्या थोरिअममध्ये (EmTh मध्ये) रूपांतरण होते.

हा असा प्रसंग म्हटला पाहिजे की ज्यायोगे किरणोत्सारी ऱ्हासाची विचारप्रणाली विकसित होण्यास मोलाची मदत झाली.

रूदरफोर्ड व सॉडी यांच्या विचारानुसार किरणोत्सारी ऱ्हासाची जी यंत्रणा अथवा जे कार्यतंत्र आहे त्यात रासायनिक मूलद्रव्यांचे रूपांतरण आणि त्यांचे नैसर्गिक द्रव्यांतरण या दोहोंचा समावेश आहे. रेडिअमच्या बाबतीत हे प्रकर्षाने पहावयास मिळते की त्याच्या आल्फाप्रारणानंतर रेडॉनमध्ये रूपांतरण होते. थोड्याफार कालान्तराने आल्फा कण द्वि-आयनीकरण झालेल्या हेलिअमच्या रूपात पहावयास मिळतो. अशा प्रकारे रेडिअमच्या ऱ्हासातून रेडॉन व हेलिअम या दोन नव्या मूलद्रव्यांचा जन्म होतो.

$$Ra \longrightarrow Rn + He$$

हा आविष्कार लगेच रॅम्से व सॉडी यांच्या प्रयोगांमार्फत पडताळून पाहिला गेला.

रूदरफोर्ड व सॉडी यांनी यापुढे जाऊन असा दावा केला की सर्व ज्ञात अशी किरणोत्सर्गी मूलद्रव्ये सर्वस्वी निरपेक्ष नसून ती एकपेकांशी जननिक पद्धतीने जोडलेली आहेत (क्रमवाररीत्या एकातून दुसऱ्यात बदलली जातात). असे म्हणता येईल की या मूलद्रव्यांपासून तीन किरणोत्सारी कुटुंबे अस्तित्वात येतात – युरेनिअम, थोरिअम व रेडिअम कुटुंबे अशी ती त्यांच्या मूळ मूलद्रव्याच्या नावाने ओळखली जातात. या विचारप्रणालीनंतरसुद्धा अनेक प्रश्न अनुत्तरीतच राहिले. किरणोत्सारी अशा किती मूलद्रव्यांपासून कुटुंबे तयार होतात? या कुटुंबातील अखेरचे मूलद्रव्य कोणते? आणि अखेर, किरणोत्सारी मूलद्रव्य कोणत्या प्रकारे अस्तित्वात असणारे द्रव्य आहे व त्याचे खरे स्वरूप तरी कसे आहे?

हा शेवटचा प्रश्न म्हणजे निव्वळ अमूर्त स्वरूपाचा समजून चालणार नाही, कारण २० व्या शतकाच्या सुरुवातीपासूनच किरणोत्सारी पदार्थांची संख्या झपाट्याने वाढू लागली. त्याबरोबरच आवर्ती पद्धतीत त्यांची सोय कशी करावयाची या प्रश्नाने तीव्र स्वरूप धारण केले.

हे नवे किरणोत्सारी पदार्थ विविध नावांनी परिचित झाले. किरणोत्सारी पदार्थ किंवा वस्तु, क्रियाशील वस्तू, किरणोत्सारी मूलद्रव्ये इत्यादी नावे त्यांना मिळाली. शास्त्रज्ञाना कल्पना होती की ते सारे नवे व अज्ञात पदार्थ किंवा द्रव्ये होत. त्यापैकी अनेकांनी आपले अस्तित्व केवळ अंगभूत असणाऱ्या किरणोत्सारी गुणधर्मांमुळे, विशेषतः प्रारण-तीव्रता, ऱ्हास होण्याची प्रवृत्ती, आणि अर्धायु यांनी जाहीर केले होते. मात्र त्यांच्या रासायनिक

स्वरूपाबद्दल काहीच किंवा मुळीसुद्धा काहीही सांगता येत नव्हते. पूर्वीचे अभिजात रसायनशास्त्र नेहमीच वजन केलेल्या पदार्थांशी संबंधित होते व म्हणूनच एखादे नवे मूलद्रव्य (किंवा त्याचे संयुग) द्रव्यात्मक स्वरूपात अलग करता येत होते, त्यांच्या क्रिया-अभिक्रिया अभ्यासिता येत होत्या व त्यांचा वर्णपट नोंदणे शक्य होते. मात्र नव्याने शोधल्या गेलेल्या किरणोत्सारी मूलद्रव्यांबाबत हे सारे अशक्य होते. म्हणूनच रसायनशास्त्रास अभिप्रेत असणाऱ्या अर्थानुसार, ती मूलद्रव्ये म्हणावी का, असे विचारणे अप्रस्तुत ठरत नव्हते.

किरणोत्साराचे सुरुवातीचे संशोधक या मुद्याबाबत अतिशय ताठ होते. क्यूरी दांपत्य व डेबर्नी यांचा विश्वास होता की सर्व नवे किरणोत्सारी पदार्थ निसर्गातील मूलभूत स्वरूपाचे पदार्थ आहेत आणि म्हणूनच ते सारे रासायनिक मूलद्रव्यात्मकच आहेत. पोलोनिअम, रेडिअम व ॲक्टिनिअम यांच्या शोधांमुळे वरवर पाहता या दृष्टीकोनास आधारच दिला गेला आणि हे शास्त्रज्ञ त्यास मोठ्या ताठरपणे चिकटून राहिले. पण हा ताठरपणा म्हणजे आगीत तेल ठरले.

रूदरफोर्ड व सॉडी यांनी वेगळा दृष्टीकोन स्वीकारला. त्यांच्या मतानुसार, किरणोत्सारी पदार्थांची स्वरूपे भिन्नभिन्न प्रकाराची असणे शक्य आहे. किरणोत्सारी कुटुंबाच्या आपल्या कल्पनेच्या आधारे त्यांनी अशी बाजू मांडली की सापेक्षत: स्थिरस्वरूपी अशी किरणोत्सारी मूलद्रव्ये अस्तित्वात आहेत. त्यांची उदाहरणे म्हणजे युरेनिअम, थोरिअम व रेडिअम ही असून त्यापासून किरणोत्सारी कुटुंबे किंवा मालिका तयार होतात. त्यांचे रासायनिक स्वरूप ठाऊक असल्याने त्यांची गणना सर्वसामान्य रासायनिक मूलद्रव्यांमध्ये केली जाणे शक्य आहे. फक्त त्यांच्या अंगी असणाऱ्या किरणोत्सारी गुणधर्मापुरतीच ती इतरांपासून वेगळी ठरतात. ज्या मूलद्रव्यांनी कुटुंबाचा किंवा मालिकेचा शेवट होतो, ती नेहमीचीच सामान्य अशी स्थिरस्वरूपी मूलद्रव्ये असतात (संदिग्धपणे असे पूर्वीच दाखवून दिले गेले की किरणोत्सारी कुटुंबास शिसे अस्तित्वात येऊन पूर्णविराम मिळतो). रूदरफोर्ड व सॉडी यांच्या विचारांनुसार मालिकेच्या मध्यंतरी जे पदार्थ अस्तित्वात येतात त्यांचे मुख्य वैशिष्ट्य म्हणजे अस्थिर प्रवृत्ती हे असते आणि अशांचे रासायनिक स्वरूप सांगणे शक्य नसते. पारंपारिक अर्थाच्या दृष्टीने त्यांना रासायनिक मूलद्रव्ये म्हणता येणार नाही, तर ते अणुरूप तुकडे किंवा खंड यासारखे काहीतरी

असते. त्यांना "मेटाबोलॉन" (रूपांतरित होणाऱ्या वस्तू या अर्थी असणाऱ्या ग्रीक शब्दावरून) असे नाव सुचविले गेले. रूदरफोर्ड व सॉडी यांच्या वरील दृष्टिकोनामुळे या पदार्थांना आवर्ती पद्धतीत जागा देण्याचा प्रश्न सुटला.

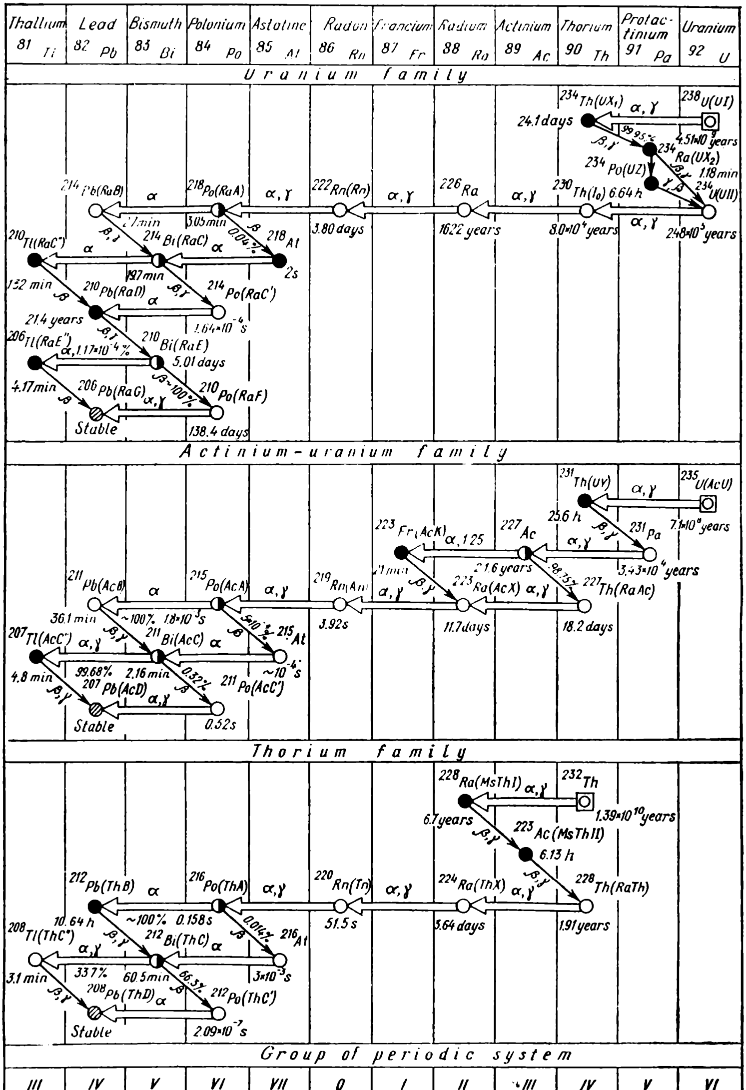
तथापि, "मेटाबोलॉन" ही संज्ञा काही सर्वसंमत झाली नाही. सॉडीने लवकरच असा दृष्टीकोन स्वीकारला की मेटाबोलॉन हे रासायनिकदृष्टचा वैयक्तिक स्वरूपाचेच असून कोणत्याही सर्वसामान्य अशा किरणोत्सारी मूलद्रव्यांप्रमाणेच असतात. १९०२ मध्ये ब्रिटिश भौतिकशास्त्रज्ञ जी. मार्टिन याने रेडिओमूलद्रव्य अशी संज्ञा प्रचलित केली. येथे एवढीच एक महत्त्वाची गोष्ट नजरेस आणावयाची आहे की रेडिओमूलद्रव्य आणि किरणोत्सारी मूलद्रव्य या दोन संज्ञा एकसारख्या मुळीच नाहीत, परंतु शास्त्रविषयक वाङ्मयात त्यांच्या वापराबाबत गोंधळ झाल्याचे पहावयास मिळते.

विसाव्या शतकातील पहिल्या दोन दशकातील रेडिओरसायनशास्त्राचा इतिहास चाळल्यास तो प्रामुख्याने नव्या रेडिओमूलद्रव्यांच्या शोधांचा आणि पूर्वी शोधल्या गेलेल्यांशी त्यांचे जननिक नाते काय हे शोधण्याचा इतिहास आहे. किरणोत्सारी कुटुंबांचे संघटन दिवसेंदिवस स्पष्ट होत गेले आणि स्थिरस्वरूपी मूलद्रव्यांचे वर्गीकरण आवर्ती पद्धतीद्वारे जसे केले गेले तसेच या कुटुंबांनाही किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या वर्गीकरणात्मक पद्धतीची वैशिष्टचे प्राप्त होत गेली. आधीचे रेडिअम कुटुंब हा युरेनिअम कुटुंबाचाच भाग असल्याचे सिद्ध झाले, पण ॲक्टिनिअम कुटुंबही अस्तित्वात आले आणि या कुटुंबाचे मूळ मूलद्रव्य कोणते हे काही दीर्घकाळ समजू शकले नाही (१९३५ मध्येच त्याबाबत निश्चित काय ते सांगणे शक्य झाले). अनेक रेडिओमूलद्रव्ये अल्पकालीन असत, त्यांचे अर्धायु काही सेकंदात, फार तर मिनिटात मोजले जातात. त्यांचे रासायनिक स्वरूप ठरविणे आणि किरणोत्सारी कुटुंबातील त्यांचे स्थान निश्चित करणे हे आत्यंतिक कठीण असे काम ठरते. मृद्‌वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्ये अलग करण्याच्या अति कंटाळवाण्या व त्याच त्याच प्रकारच्या कामाशी त्याची तुलनाच होऊ शकत नाही. त्यासाठी एका स्वतंत्र पुस्तकाचीच गरज भासेल. यासाठीच, आम्ही येथे अशा रेडिओमूलद्रव्यांच्या शोधांची कालक्रमानुसार फक्त माहिती देत आहोत (कोष्टक १-३ पहा).

तीन किरणोत्सारी कुटुंबांचे आजचे संघटन आकृती २ मध्ये पहावयास मिळेल.

DIAGRAM 1

Radioactive families of uranium-238, uranium-235 and thorium-232



प्रत्येक किरणोत्सारी कुटुंबामध्ये मूलद्रव्यांचे दोन विशेष गट पहावयास मिळतात. वायू-प्रवाह उत्सर्जित करणाऱ्यांच्या आधी येणारी रेडिओमूलद्रव्ये तुलनात्मकदृष्टचा दीर्घकाल टिकणारी असतात. याउलट, त्यानंतर येणारी मात्र अल्पशा अर्धायूची असतात. ती ओळखता येण्यासाठी A, B, C अशी संकेताक्षरे वापरली आहेत (उदा. RaA, AcA, AcC, ThB, इ.). अशा अल्पशा अर्धायू मूलद्रव्यांचे गट कार्यशील अवसाद (गाळ) म्हणून ज्ञात होते. ही मूलद्रव्ये (रासायनिक) विश्लेषण करण्यास आत्यंतिक कठीण, प्रचंड गोंधळात टाकणारी आणि असंख्य चुकांना जन्म देणारी ठरली. पण त्यांच्याच अभ्यासामुळे तर रेडिओरसायनशास्त्र या नव्या शास्त्रशाखेचा विकास होण्यास बहुमोल हातभार लागला.

कोष्टक १ले : युरेनिअम – २३८ कुटुंब

रेडिओमूलद्रव्य	शोध-वर्ष	शोधक
युरेनिअम – I	१८९६*	ए. बेक्वेरेल
युरेनिअम – X_1	१९००	डब्ल्यु. क्रुक्स
युरेनिअम – X_2	१९१३	के. फाजन्स, ओ. गोअरिंग
युरेनिअम – II	१९११	एच. गेगर, जे. नॅटाल
आयोनिअम	१९०७	बी. बोल्टवुड
रेडिअम	१८९८	क्यूरी दांपत्य, जी. बेमॉन्ट
रेडिअमचे वायू-प्रारण	१९००	इ. डॉर्न
रेडिअम – A	१९०३	इ. रूदरफोर्ड, एच. बार्नेस
	१९०४	पी. क्यूरी, जे. डेन
रेडिअम – B	१९०३	पी. क्यूरी, जे. डेन
रेडिअम – C	१९०३	पी. क्यूरी, जे. डेन
रेडिअम – C′	१९०९	ओ. हान, एल्. मेट्नर
रेडिअम – C″	१९१२	के. फाजन्स
रेडिअम – D (रेडिओलेड)	१९००	के. हॉफ्मान, इ. स्ट्रॉस
रेडिअम – E	१९०४	के. हॉफ्मान, एल. गाँडर
	१९०५	इ. रूदरफोर्ड
रेडिअम – F (पोलेनिअम)	१८९८	क्यूरी दांपत्य

* युरेनिअमच्या किरणोत्साराच्या शोधाची तारीख.

किरणोत्सारी कुटुंबांच्या संघटनेकडे जसजसे लक्ष जाऊन ते आज माहीत असल्याप्रमाणे निष्पन्न होत गेले, तसतशी आवर्ती पद्धतीत या रेडिओमूलद्रव्यांना योग्य जागा देण्याची गरज प्रकर्षाने भासू लागली. काही झाले तरी प्रत्येक रेडिओमूलद्रव्य, या पद्धतीत जागा घेतलेल्या कोणत्या ना कोणत्यातरी पारंपारिक मूलद्रव्याशी आपले रासायनिक साधर्म्य दाखवीत होतेच. पण अशा रेडिओमूलद्रव्यांची संख्या फार मोठी होती. रॅम्सेनी या परिस्थितीचे वर्णन करताना "गोंधळात टाकणारे वैपुल्य" अशा अर्थी फ्रेंच भाषेत असणारा वाक्प्रचार वापरला. या शतकाच्या दुसऱ्या दशकाच्या सुरुवातीस ४० रेडिओमूलद्रव्ये शोधली गेली. काही मूलद्रव्यांचे रासायनिक साधर्म्य एवढे होते की ती अलग करणे त्यावेळच्या कोणत्याही पद्धतीस शक्य नव्हते. (उदाहरणार्थ सर्वच्या सर्व तीन वायूप्रारणे, तसेच थोरिअम, आयोनिअम व रेडिओथोरिअम आणि त्यानंतर रेडिअम व थोरिअम-X).

कोष्टक २ रे : युरेनिअम – २३५ कुटुंब

रेडिओमूलद्रव्य	शोध-वर्ष	शोधक
युरेनिअम – २३५ AcU	१९३५	ए. डेम्प्स्टर
युरेनिअम – U	१९११	जी. अन्तोनोव
प्रोटेक्टिनिअम	१९१८	ओ हान, एल. मेट्नर
	१९१८	एफ. सॉडी, ज. क्रॅन्स्टर
ॲक्टिनिअम	१८९९	ए. डेबर्नी
	१९०२	एफ. गिसेल
रेडिओॲक्टिनिअम	१९०६	ओ. हान
ॲक्टिनिअम – k	१९३९	एम. पेरिल
ॲक्टिनिअम – X	१९००	ए. डबर्नी
	१९०४	एफ. गिसेल
	१९०५	टी. गॉड्लेव्स्की
ॲक्टिनिअमचे वायू-प्रारण	१९०२	एफ. गिसेल
ॲक्टिनिअम – A	१९११	एच. गेगर
ॲक्टिनिअम – B	१९०४	ए. डेबर्नी
ॲक्टिनिअम – C	१९०४	एच. ब्रुक्स
ॲक्टिनिअम – C′	१९०८	ओ. हान, एल. मेटनर
	१९१३	इ. मार्स्डेन, आर. विल्सन
ॲक्टिनिअम – C″	१९१४	इ. मार्स्डेन, पी. पर्किन्स

कोष्टक ३ रे : थोरिअम – २३२ कुटुंब

रेडिओमूलद्रव्य	शोध-वर्ष	शोधक
थोरिअम	१८९८*	एच. श्मिट, एम. क्यूरी
मेसोथोरिअम – I	१९०७	ओ. हान
मेसोथोरिअम – II	१९०८	ओ. हान
थोरिअम – X	१९०२	इ. रूदरफोर्ड, एफ. सॉडी
थोरिअमचे वायूप्रारण	१८९९	इ. रूदरफोर्ड
थोरिअम – A	१९१०	एच. ग्रेगर, इ. मार्सडेन
थोरिअम – B	१८९९	इ. रूदरफोर्ड
थोरिअम – C	१९०३	इ. रूदरफोर्ड
थोरिअम – C′	१९०९	ओ. हान, एल. मेटनर
थोरिअम – C″	१९०६	ओ. हान

अशा गटामध्ये असणाऱ्या प्रत्येक रेडिओमूलद्रव्याच्या वस्तुमानात खूपच फरक पडत होता, काही वेळा तो फार अल्प असे पण फरक असावयाचाच. ही परिस्थिती खरोखरच गोंधळात टाकणारी होती यात संशय नव्हता. काही शास्त्रज्ञांनी सुचविले की आवर्ती कोष्टकाच्या बाहेरच ही रेडिओमूलद्रव्ये ठेवावीत. पण काही विचारी लोकांना ते पटले नाही. १९०९ मध्ये डी. स्ट्रॉमहोम व टी. स्वेड्बर्ग या दोन स्विडिश शास्त्रज्ञांनी कोष्टकाच्या एकाच गटात अनेक रेडिओमूलद्रव्ये ठेवण्याचा मार्ग सुचविला. (त्यांचे हे म्हणणे बरोबर असल्याचे लवकरच सिद्ध झाले.) स्विडिश शास्त्रज्ञांना ए. कॅमेरॉन या ब्रिटिश रेडिओरसायनज्ञानेही पाठिंबा दिला. (१९११).

किरणोत्साराबरोबर मूलद्रव्यांचे रूपांतरण होते हे १९०३ मध्येच जरी सिद्ध झाले होते तरी, रेडिओमूलद्रव्यातून जेव्हा आल्फा किंवा बीटा कणांचे प्रारण होते तेव्हा या मूलद्रव्यांच्या बाबतीत नेमके काय घडते याचे शास्त्रज्ञ फार काळ उत्तर देऊ शकले नाहीत. या प्रश्नाच्या उत्तरामुळे, एखादे मूलद्रव्य किरणोत्सारी ऱ्हास पावल्यामुळे केव्हा जागा बदलते हे समजणे शक्य होते. अणूचे अंतरंग अथवा संरचना त्यावेळीही अज्ञात होती आणि

---

* थोरिअमच्या किरणोत्साराच्या शोधाची तारीख.

रेडिओमूलद्रव्याच्या स्वरूपात होणारा बदल त्याच्या व नव्याने तयार होणाऱ्या पदार्थांच्या रासायनिक गुणधर्मांची तुलना करूनच समजत असे. पण हे काम पुष्कळदा कमालीचे अवघड ठरत असे कारण रेडिओरसायनज्ञांना त्यासाठी अत्यल्प प्रमाणात असे पदार्थ उपलब्ध होत असत. कित्येकदा दुय्यम वैशिष्ट्यच्या आधारे या रेडिओमूलद्रव्यांचे अस्सल रासायनिक चित्र उभारावे लागत असे.

शास्त्रज्ञांचे आत्यंतिक चिकाटीपूर्वक काम आणि जमा झालेली प्रायोगिक माहिती यामुळे, किरणोत्सारामुळे होणाऱ्या स्थानबदलाचा नियम सूत्ररूप करता आला. या कामात अनेक शास्त्रज्ञांनी भाग घेतला होता यात शंकाच नाही पण मुख्य हातभार लागला तो एफ. सॉडी व पोलिश रसायनज्ञ के. फाजन्स यांचा, म्हणून हा नियम सॉडी–फाजन्स नियम म्हणून माहीत झाला. या नियमानुसार अल्फा ऱ्हासामुळे, आवर्ती कोष्टकातील सुरुवातीच्या स्थितीपासून डाव्या बाजूस दोन घरे स्थानांतर होणारे रेडिओमूलद्रव्य अस्तित्वात येते तर बीटा ऱ्हासामुळे तयार होणारा पदार्थ उजवीकडच्या एका घरात जातो. आल्फा कण केंद्रकापासून २ चा धन प्रभार काढून टाकतो (किंवा धनप्रभार २ ने कमी करतो) आणि म्हणून सुरुवातीच्या मूलद्रव्याचा क्रमांक (त्याच्या केंद्रकावरील भार) दोनने कमी होतो, तर बीटा कणाच्या उत्सर्जनामुळे केंद्रकाचा धनप्रभार १ ने वाढतो.

या स्थानांतरणाच्या नियमामुळे किरणोत्सारी कुटुंबामध्ये व मूलद्रव्यांच्या आवर्ती पद्धतीमध्ये सुसंवादी असे नाते निर्माण होण्यास मदत झाली. अनेक क्रमवार अशा आल्फा व बीटा ऱ्हासांनंतर या कुटुंबाचे मूळ निर्माते स्थिर अशा शिशामध्ये रूपांतर पावतात व त्या रूपांतरण क्रियेत आवर्ती कोष्टकात युरेनिअम व बिस्मथमध्ये आढळणाऱ्या नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांना "जन्म" देतात. पण मग या पद्धतीत असणाऱ्या प्रत्येक "खोली"त अनेक रेडिओमूलद्रव्यांना जागा दिली पाहिजे. त्यांचा केंद्रकावरील भाग एकसमान होता पण वस्तुमाने वेगवेगळी होती. म्हणजेच ठराविक मूलद्रव्याच्या, एकसमान रासायनिक गुणधर्मांचे, पण वेगवेगळी वस्तुमाने असणारे व किरणोत्सारी वैशिष्टये असणारे असे ते प्रकार म्हणता येतील. १९१३ च्या डिसेंबरमध्ये, अशा प्रकारांना सॉडीने समस्थानीय हा शब्द सुचविला ("समान जागा" या अर्थी ग्रीक शब्द), कारण आवर्ती कोष्टकात ते एकच जागा व्यापतात.

आता हे स्पष्ट झाले आहे की रेडिओमूलद्रव्ये म्हणजे नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचे निव्वळ समस्थानीय होत. ती तीन वायू-प्रारणे म्हणजे आवर्ती पद्धतीतल्या क्र. ८६ उर्फ रेडॉन या किरणोत्सारी मूलद्रव्याचे समस्थानीय होत. किरणोत्सारी कुटुंबांमध्ये युरेनिअम, थोरिअम, पोलोनिअम व ॲक्टिनिअम यांचे समस्थानीय असतात. पुढे अनेक स्थिर मूलद्रव्यांचे समस्थानीय आहेत असे निष्पन्न झाले. या ठिकाणी एक मोठे कुतूहलजनक निरीक्षण करता येते. जेव्हा एखाद्या स्थिर अशा मूलद्रव्याचा शोध लागतो तेव्हा त्या बरोबरच त्याच्या साऱ्या समस्थानीयांचाही शोध लागतो असे म्हणता येते. पण नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या बाबतीत मात्र वैयक्तिक समस्थानीय प्रथम शोधले गेले. रेडिओमूलद्रव्यांचा शोध म्हणजे समस्थानीयांचा शोध होता. स्थिर आणि किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या निसर्गातील शोधाच्या संदर्भात हा फार महत्त्वाचा फरक होता. मोठ्या संख्येतील रेडिओमूलद्रव्यांना जागा देण्याच्या समस्येपायी आवर्ती पद्धतीवर हानीदायक ताण पडला पण त्यात आश्चर्य वाटण्याचे कारण नाही, अखेर ते मूलद्रव्यांचे वर्गीकरण होते, समस्थानीयांचे नव्हे. स्थानभ्रष्टतेचा नियम आणि समस्थानीयता यांनी परिस्थिती सुधारण्यास फार मोठी मदत केली व भावी प्रगतीचा मार्ग मोकळा केला.

प्रोटॅक्टिनिअम

मेंदेलेयेवने सूचित केलेले एका-टँटलम हे बहुधा एकुलते एक किरणोत्सारी मूलद्रव्य असावे की जे सर्वसाधारणपणे सर्वमान्य होण्याच्या पूर्वीच शोधले गेले. आम्ही थोरिअम व युरेनिअम यांच्या मधोमध असणाऱ्या ९१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याबद्दल बोलत आहोत. त्याच्या दीर्घकाळ टिकणाऱ्या समस्थानीयाचे अर्धायु भरपूर (३४३०० वर्षे) असल्यामुळे ते युरेनिअम खनिजात साचणे अगदी शक्य आहे. शिवाय ते आल्फा किरण बाहेर टाकते. त्याच्या शोधाच्या स्वीकृत तारखेकडे (१९१८) नजर टाकल्यास ते एवढ्या उशिरा का शोधले गेले असे विचारणे चूकीचे ठरणार नाही. याचे उत्तर आम्ही पुढे देऊ.

प्रथमत: युरेनिअम-२३८ याच्या कुटुंबासंबंधी थोडा विचार करू या (कोष्टक १ व आकृती १ पहा). क्रुक्सने शोधलेले सुप्रसिद्ध मूलद्रव्य ऊर्फ UX कोष्टक १ मध्ये युरेनिअम – X_1 असे चिन्हांकित केले आहे. वास्तविक त्याच्या शोधामुळेच किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचा शोध सुरू झाला. वरील नाव

फार उशिरा दिले गेले आणि ते रेडिओमूलद्रव्य – X_2 म्हणून चिन्हांकित केलेल्याच्या शोधानंतरच.

१९१३ च्या फेब्रुवारी महिन्यात सॉडीने असे सूचित केले की क्रुक्सने शोधलेले UX हे मूलद्रव्य व १९११ मध्ये शोधलेले U — II हे युरेनिअम कुटुंबातील मूलद्रव्य यामध्ये एक तरी अज्ञात रेडिओमूलद्रव्य असलेच पाहिजे. सॉडीच्या मतानुसार या नव्या मूलद्रव्याचे गुणधर्म एका – टँटॅलमसदृश असावयास हवेत. या गृहीत मूलद्रव्यास आवर्ती पद्धतीच्या पाचव्या गटात जणू त्याची हक्काची जागा मिळावयास हवी असे वाटते. निसर्गाच्या कोणत्यातरी अगम्य लहरीमुळे त्या जागेत कोणतेही रेडिओमूलद्रव्य नव्हते. तथापि काटेकोरपणे बोलावयाचे झाल्यास तो लहरीपणा मुळीच म्हणता येणार नाही. या कुटुंबाचा निर्माता युरेनिअम-२३८ (किंवा U — I) आणि सभासद U — II हे युरेनिअमचे समस्थानीय आहेत. इतर रेडिओमूलद्रव्यांच्या तुलनेने या दोहोंचे अर्धायु अतिशय दीर्घ कालावधीचे असते. युरेनिअम – I च्या पार्श्वभूमीवर युरेनिअम – II ची ओळख पटणे हे काही वाटते तेवढे सोपे काम नव्हे. युरेनिअम– II चे पूर्वचिन्ह दर्शविणारे द्रव्य म्हणजेच एका-टँटलम UX_2 शोधणे जेवढे सोपे नव्हते तेवढेच हे कामही सोपे नव्हते.

हे काम १९१३ च्या मार्चमध्ये के. फाजन्स व त्याचा तरूण सहाय्यक ओ. गोअरिंग यांनी पार पाडले. त्यांनी बीटाप्रारणाचे १.१७ मिनिटांचे अर्धायु असणारे आणि टँटॅलमसदृश गुणधर्म असणारे एक नवे रेडिओमूलद्रव्य शोधून काढले. त्याच वर्षीच्या ऑक्टोबरमध्ये त्यांनी स्पष्टपणे मांडले की UX_1 हे एक नवे किरणोत्सारी मूलद्रव्य असून त्याचे थोरिअम व युरेनिअम यामधोमध स्थान आहे. या मूलद्रव्यास त्यांनी ब्रेव्हिअम ("अल्पकाळ टिकणारे" अशा अर्थाच्या ग्रीक शब्दानुसार) हे नावही सुचविले.

UX_2 या चिन्हाने युरेनिअम कुटुंबात आपली जागा व्यापली खरी पण Bv या चिन्हास आवर्ती पद्धतीतील जागा क्रमांक ९१ मिळणे मुश्कील झाले. तसे पाहिले तर या नव्या मूलद्रव्याचा फार सखोल अभ्यास अनेक प्रयोगशाळांमध्ये झाला होता आणि त्याचा शोध ब्रिटिश व जर्मन शास्त्रज्ञांनी शाबीतही केला होता.

एकंदरीत, मूलद्रव्य क्र. ९१ चा शोध १९१३ मध्ये लागला हे विधान काही फारसे वादग्रस्त ठरत नाही. तर मग प्रश्न असा उरतो की त्याचा इतिहास या तारखेपासून का सुरू होत नाही?

पहिले जागतिक महायुद्ध जर सुरू झाले नसते तर ब्रेव्हिअमचे भवितव्य कदाचित अधिक चांगले ठरले असते. पण युद्धामुळे रेडिओमूलद्रव्याच्या अभ्यासात खंड निर्माण झाला आणि माहितीच्या देवाणघेवाणीत चांगलाच अडथळा आला. परिणामी, एका-टँटॅलम दुसऱ्यांदा शोधणे भाग पडले.

जी तीन किरणोत्सारी कुटुंबे आहेत त्यापैकी अक्टिनिअम कुटुंब समजावून घेणे ही दीर्घकालापावेतो मोठी कठीण समस्या झाली होती. कोणत्या मूलद्रव्यामुळे त्याची सुरुवात झाली असेल? या प्रश्नास स्पष्ट असे उत्तर नव्हते. ॲक्टिनिअम असे जर त्याचे उत्तर असेल तर त्याचे अर्धायु थोरिअम व युरेनिअमच्या अर्धायूंच्याच वर्गातील असावयास हवे. हे अशक्य वाटले, जरी अर्धायूने मूल्यमापन नाकारले असले तरी कोणत्याही परिस्थितीत पृथ्वीच्या वयाच्या तुलनेने ते नगण्य होते.

तथापि, ॲक्टिनिअम हाच कुटुंबाचा मूळ निर्माता समजल्यामुळे त्याच्या पूर्वद्रव्याचा प्रश्नच उद्‌भवत नाही अशी वृत्ती घेतली गेली व त्यामुळेही एका-टँटॅलमचा शोध लांबणीवर पडला. दुसरा असा एक विचार मांडला गेला की ॲक्टिनिअम कुटुंब स्वतंत्र नसून ते केवळ युरेनिअम कुटुंबाची एक शाखा आहे. यावर रेडिओरसायनज्ञांनी अगोदरच म्हणजे १९१३-१४ मध्ये चर्चा केली होतीच व तोपावेतो ब्रेव्हिअमचा शोधही लागलेला होता. तथापि त्यांच्या चर्चेतून काहीच हाती लागले नाही आणि खोटया सबबींखाली (आणि बहुतेक साऱ्या जणांनी त्या स्वीकारल्याही होत्या) कुटुंबाचा प्रमुख म्हणून ॲक्टिनिअमचा वावर चालूच राहिला.

यापुढील प्रगतीत निर्णायक भूमिका जर कुणी बजावली असेल तर ती UX या रेडिओमूलद्रव्याने. ते थोरिअमचे समस्थानीय असून १९११ मध्ये रशियन रेडिओरसायनज्ञ जी. अन्तोनोव याने शोधले. अन्तोनोव याने रूदरफोर्डच्या प्रयोगशाळेत काम केले होते. युरेनिअमच्या कुटुंबातील UX_1 हे मूलद्रव्य (थोरिअमचाच समस्थानीय) बीटा कणाचे उत्सर्जन करते आणि ब्रेव्हिअमला (UX_2) जन्म देते.

पुढे १९१७ मध्ये ए. पिकार्ड या फ्रेंच रसायनज्ञाने असे सुचविले की जे कुटुंब अद्यापीही ॲक्टिनिअम कुटुंब म्हणून ओळखले जाते त्याच्या मूळ उद्‌गमस्थानी वर सांगितल्यासारखीच परिस्थिती चालू असावयास हवी. त्याची कल्पना अशी की या कुटुंबाचे उद्‌गमस्थान तिसरे व अद्यापीही अज्ञात असे युरेनिअम समस्थानीय (U—1 व U—2) यांच्या समवेत असावे. ही कल्पना

पडताळून पाहिली गली पण फारच उशिरा. पिकार्डने त्याचे नाव ॲक्टिनो-युरेनिअम असे ठेवले. ते जेव्हा आल्फा कण उत्सर्जित करते तेव्हा त्याचे UY रूपांतर होते की जे पुढे ॲक्टिनिअममध्ये रूपांतरित होते. या प्रक्रियेतील मधले उत्पादन हे रेडिओमूलद्रव्य असावयास पाहिजे व आवर्ती पद्धतीतील पाचव्या गटात बसणारे हवे. रूपांतरणाचा हा क्रम पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल

$$AcU \xrightarrow{\alpha} UY \xrightarrow{\beta} EkaTa \xrightarrow{\alpha} Ac$$

पिकार्डने सुचविलेल्या या कल्पनेमुळे किरणोत्सारी कुटुंबात ज्या UY ची अवस्था स्पष्ट नव्हती त्याच्याबाबतही उत्तर मिळाले. या भरीव पण बऱ्याच धिटाईच्या सूचनेबाबत काही पडताळा पाहणे खचितच बोधप्रद ठरेल.

इंग्लंडमध्ये सॉडी व त्याच्या ए. क्रॅन्स्टन नामक सहाय्यकाने एका-टँटॅलमच्या शोध-कार्यातील पुढील भागाचे काम चालू ठेवले. ते याबाबतीत नशीबवान ठरले म्हणावयाचे व १९१७ च्या डिसेंबरमध्ये, युरेनिअम-Y च्या बीटा-ऱ्हासाचे उत्पादन म्हणजेच एका-टँटॅलम, या आपल्या शोधावर त्याने एक निबंध लिहिला. तथापि, जर्मन रसायनज्ञ ओ. हान व एल. मेटनर यांच्या अहवालाच्या तुलनेत त्यांची एका-टँटॅलमविषयक माहिती काहीशी निकस ठरली.

जर्मन रसायनज्ञांचा निबंध जरी आधी प्रसिद्ध झाला होता तरी प्रसिद्धी-माध्यमास (मुखपत्रास) मात्र ब्रिटिश रसायनज्ञांच्या निबंधानंतर दिला गेला. पण प्रसिद्ध झालेल्या माहितीचे महत्त्व नाही. हान व मेटनर यांनी हे रेडिओ-मूलद्रव्य केवळ अलग मिळविले नाही तर शक्य असणाऱ्या सर्व प्रकारे त्याच्या गुणधर्मांचा अभ्यास केला, त्याचे अर्धायु निश्चित केले आणि आल्फा कणांचा मध्यम मुक्तपथ ठरविला. जर्मन व ब्रिटिश शास्त्रज्ञ या दोहोंनाही मूल-द्रव्य क्र. ९१ च्या शोधाचे मानकरी समजण्यात येते. परंतु जर्मन शास्त्र-ज्ञांचा त्यातील वाटा निश्चितच अधिक आहे. या शोधाच्या हकिकतीचा शेवट फाजन्सच्या उमद्या मनोवृत्तीचे दर्शन घडवून केला पाहिजे. एका-टँटॅलमच्या शोधाचे स्वामित्व त्याने सांगितले नाही (जरी तसे सांगण्याचा त्यास अधिकार जरूर होता). त्याने फक्त ब्रेव्हिअमऐवजी प्रोटॅक्टिनिअम ("ॲक्टि-अमआधी येणारे" अशा अर्थाच्या ग्रीक शब्दावरून) हे नाव सुचविले, कारण अलिकडचे रेडिओमूलद्रव्य हे अतिदीर्घकाळ टिकणारे समस्थानीय होते.

अशा प्रकारे, Pa हे चिन्ह आवर्ती पद्धतीत अवतीर्ण झाले. सर्वात मोठे अर्धायु असणाऱ्या त्याच्या समस्थानीयाचा वस्तुमानांक २३१ आहे. १९२७ मध्ये Pa_2O_5 काही मिलिग्रॅम मिळविण्यात आले.

फ्रान्सिअम

मूलद्रव्य क्र.८७ चे, मूलद्रव्यांच्या इतिहासात स्वतःचे असे एक स्थान आहे. त्याचे निसर्गातील प्रमाण अथवा विपुलता अत्यंत अल्पशी असली तरी मूलतः ते निसर्गातच सापडले आहे. पण त्याची सारी कथा, संश्लेषित मूलद्रव्यांसाठी असणाऱ्या भागात सांगितली जाईल. अनेक कारणांमुळे हेच श्रेयस्कर ठरते.

असा आहे पुस्तकाच्या पहिल्या भागाचा शेवट.

भाग दुसरा

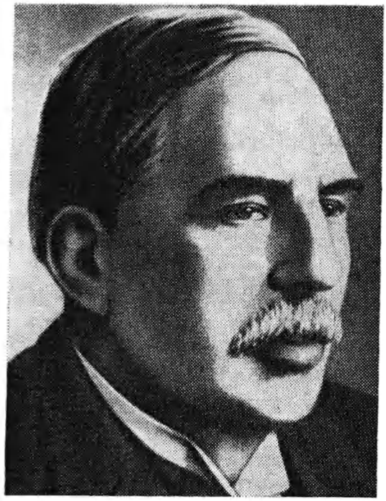
संश्लेषित मूलद्रव्ये

मूलद्रव्यांतरणाची (एका मूलद्रव्याचे दुसऱ्या मूलद्रव्यात रूपांतरण करण्याची) कल्पना फार प्राचीन काळापासून चालत आली आहे. या कल्पनेचा किमयागारांनी आपल्या विशिष्ट हेतूंसाठी पाठपुरावा केला खरा पण अशा रूपांतरणाचे सारे प्रयत्न व्यर्थ ठरले. एक स्वतंत्र व विकसित शास्त्र म्हणून रसायनशास्त्राची जसजशी प्रगती होत गेली आणि पदार्थांचे गुणधर्म व संरचना यांच्या कल्पना सुस्पष्ट होत गेल्या तसतसे मूलद्रव्यांच्या रूपांतरणाच्या खुद्द कल्पनेस व शक्यतेस आव्हान दिले गेले. १९ व्या शतकाच्या अखेरीस विचारी व परिपक्व बुद्धीच्या शास्त्रज्ञांनी या कल्पनेकडे दुर्लक्ष केले पण ती स्पष्टपणे नाकारण्याचे धाडसही दाखविले नाही.

तथापि, त्या शतकाच्या अखेरीस असा एक आविष्कार दृष्टोत्पत्तीस आला की निसर्गात अशा तऱ्हेचे रूपांतरण सातत्यपूर्वक चालू असते या विरोधाभासी कल्पनेचा प्रसार झाला. ही घटना म्हणजे किरणोत्साराचा लागलेला शोध होय. पण आवर्ती पद्धतीच्या अगदी शेवटी असणाऱ्या मूलद्रव्यांपैकी अगदी थोड्या मूलद्रव्यांच्या बाबतीत नैसर्गिक रूपांतरण घडते असे जाणवले.

असे किरणोत्सारी रूपांतरण मानवी इच्छेअनिच्छेपासून सर्वस्वी अलिप्त असते. त्यामध्ये अडथळा आणण्याचे किंवा बदल घडविण्याचे सारे प्रयत्न निष्फळ ठरले. अणूच्या संरचनेची प्रतिकृती निश्चित केली गेली तेव्हा हे स्पष्ट झाले की किरणोत्सार हा केंद्रकीय ऊर्फ न्यूक्लीय आविष्कार आहे. केंद्रकांच्या संरचनाविषयक विशेषांमुळे किरणोत्सार ऱ्हासाचे प्रमाण ठरते.

केंद्रकीय भार हे रासायनिक मूलद्रव्याचे प्रमुख अंग होय. जेव्हा केंद्रक आल्फा किंवा बीटा कण उत्सर्जित करतो तेव्हा त्यावरील भार बदलतो आणि त्या रासायनिक मूलद्रव्याचे स्वरूपही बदलते. एका मूलद्रव्याचे दुसऱ्या मूलद्रव्यात द्रव्यांतरण (रूपांतरण म्हणा पाहिजे तर) होते. या दृष्टीने जर



इ. रुदरफोर्ड

आपण स्थिरस्वरूपी रासायनिक मूलद्रव्ये विचारात घेतली तर ध्यानात येईल की त्यांचा केंद्रकीय भार स्वतःहून कधीच बदलत नाही. जर आपण कोणत्या तरी मार्गाने त्याची संरचना पुनर्रचित केली, केंद्रकातील प्रोटॉनची संख्या वाढवू शकलो किंवा घटवू शकलो तरच रूपांतरणाचा आविष्कार घडून येईल. असे झाले तरच केंद्रकीय भार बदलेल आणि कृत्रिमरीत्या रूपांतरण करणे शक्य होईल.

मूलद्रव्याचे कृत्रिमरीत्या रूपांतरण (संश्लेषित रूपांतरण) करण्याचे काम सर्वप्रथम रूदरफोर्डने प्रत्यक्षात आणले. १९१९ मध्ये नायट्रोजनवर आल्फा कणांचा मारा करून ऑक्सिजनचे अणू मिळविले. कृत्रिमरीत्या घडवून आणलेली ही केंद्रकीय अभिक्रिया इतिहासातील सर्वप्रथम असून ती पुढील-प्रमाणे दाखविता येईल :

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$$

किंवा संक्षिप्तपणे असेही दाखविता येईल :

$$^{14}_{7}N(\alpha,\ p)\,^{17}_{8}O$$

केंद्रकीय अभिक्रिया घडवून आणण्यासाठी आल्फा कण हेच दीर्घकालापावेतो एकमेव साधन होते. नैसर्गिकरीत्या उत्पादित होणाऱ्या आल्फा कणांची ऊर्जा उच्च मूल्याची नव्हती ; त्यामुळे थोड्याशाच मूलद्रव्याच्या केंद्रकात ते आरपार जाऊ शकत. असे प्रसंग फारच विरळा असत. यामुळे मूलद्रव्यांच्या रूपांतरण क्रियेवर मर्यादा आली. पण तिसऱ्या दशकात जे दोन शोध लागले त्यामुळे ही परिस्थिती चांगलीच बदलली. १९३२ मध्ये ब्रिटिश शास्त्रज्ञ जे. चॅडविक यांनी न्यूट्रॉन नामक उदासीन (तटस्थ) प्रवृत्तीचा मूलभूत कण शोधला. विद्युतदृष्ट्या तो उदासीन असल्यामुळे धन प्रभारित केंद्रकामार्फत तो प्रतिसारला जात नाही व त्यामुळे केंद्रकीय रूपांतरणार्थ न्यूट्रॉन हे एक सार्वत्रिक उपकरण ठरले. दोन वर्षांनी फ्रेंच भौतिकशास्त्रज्ञ इरीन व फ्रेडरिक जोलिअट-क्यूरी यांनी कृत्रिमरीत्या होणारे किरणोत्सार शोधून काढले आणि किरणोत्सार रूपांतरणाचा एक नवा प्रकार ऊर्फ पॉझिट्रॉन ऱ्हास म्हणजेच पॉझिट्रॉनचे उत्सर्जन शोधून काढले.

एखादा असे सहजच विचारू शकतो की मोठ्या संख्येतील किरणोत्सारी समस्थानीयांचे उत्पादन कोणत्या कारणांमुळे शक्य झाले? याचे उत्तर असे की भौतिकशास्त्रज्ञांच्या प्रायोगिक कार्यामुळे ते शक्य झाले. त्यांनी अचूक व काटेकोरपणे मोजमाप करणारी उपकरणे शोधून काढली. केंद्रकीय अभिक्रिया घडवून आणणारे व त्यांचा अभ्यास करता येईल असे तंत्रज्ञान विकसित केले आणि रसायनशास्त्रज्ञांच्या मदतीने किरणोत्सारी पदार्थांचे अंशमात्र भाग वेगळे करण्याच्या पद्धती शोधून काढल्या. याबरोबरच आल्फा कणांप्रमाणेच प्रोटॉन व न्यूट्रॉन यासह ड्यूट्रॉनचा (ड्यूटेरिअम या जड हायड्रोजनच्या समस्थानीयाचा केंद्रक) वापर होऊ लागला. त्यामुळे केंद्रकावर भडिमार करण्यास उपलब्ध कणांची व्याप्ती बरीच विस्तृत झाली. पुढे बोरॉन, कार्बन, नायट्रोजन, ऑक्सिजन, निऑन, अशा मूलद्रव्यांच्या विद्युतभारित आयनांमुळे ही व्याप्ती अधिकच विस्तारली. यावर कळस झाला तो भौतिकशास्त्रज्ञांनी शोधलेल्या प्रवेगकांमुळे (ॲक्सिलरेटरांमुळे). त्यांच्या सहाय्याने विद्युतभारित कणांना अति उच्च वेग देण्यासाठी प्रवेगित केले जाते. या साऱ्या प्रगतीमुळे नवी मूलद्रव्ये संश्लेषित करण्याचा मार्ग खुला झाला.

प्रकरण १२ वे

आवर्ती पद्धतीच्या जुन्याच चौकटीतील संश्लेषित मूलद्रव्यांचा शोध

"आवर्ती पद्धतीतील हरवलेल्या मूलद्रव्यांचे संश्लेषण" असेही या प्रकरणास नाव देता येईल. अखेरच्या स्थिरस्वरूपी अशा ऱ्हेनिअम या मूलद्रव्याचा शोध लागल्यानंतर आवर्ती कोष्टकातील हायड्रोजन व युरेनिअम यामधल्या फक्त चारच मूलद्रव्यांचा (क्रमांक ४३, ६१, ८५ व ८७) पत्ता नव्हता. दुसऱ्या महायुद्धापूर्व काळात ती सारी संश्लेषितरीत्या मिळविली गेली (अथवा, ती मिळविण्याबाबत हेतुपुरस्सर प्रयत्न केले गेले). ते कसेही असले तरी संश्लेषित मूलद्रव्यांचा इतिहास या चार मूलद्रव्यांवरील संशोधनाने सुरू होतो.

टेक्निशिअम

आवर्ती कोष्टकाच्या वरच्या भागापासून ते खालच्या सहाव्या गटापर्यंत (जेथे मृद्‌वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्ये आहेत) नेहमीच "शांतता" पहावयास मिळाली आहे. विशेषतः या पद्धतीच्या डाव्या बाजूस, सुसंवाद साधून बंद करणाऱ्या अक्रियाशील वायुगटाचा शोध लागल्यानंतरही शांतता प्रकर्षाने आढळली. या भागात सनसनाटी शोधाची अपेक्षा सहसा नसल्यामुळे तो शांतप्रवृत्तीचा म्हटला गेला. थोडाफार वादविवाद झाला खरा पण तो केवळ हायड्रोजन व हेलिअम यामध्ये हायड्रोजनपेक्षाही हलकी मूलद्रव्ये अस्तित्वात असण्याच्या शक्याशक्यतेबाबत झाला. गणिततज्ज्ञांच्या भाषेत सर्वसाधारणपणे असे म्हणता येईल की हा भाग म्हणजे रासायनिक मूलद्रव्यांचा क्रमित संच ठरला.

म्हणूनच, पाचव्या आवर्तातील व सातव्या गटातील ४३ क्रमांकाची रिकामी जागा अधिक चमत्कारिक व मोठी गोंधळात टाकणारी ठरते.

तेथील मूलद्रव्यास मेंदेलेयेवने एका-मँगॅनीज असे नाव दिले आणि त्याच्या मुख्यमुख्य गुणधर्मांबाबत अंदाज वर्तविण्याचा प्रयत्न केला. दोन चार वेळा हे मूलद्रव्य सापडल्याचा भास झाला पण काहीतरी चुकल्याची लगेच जाणीवही झाली. असे इल्मेनिअमबाबत घडले व त्याचा खोटा "शोध" पूर्वी १८४६ मध्ये आर. हर्मान या रशियन रसायनज्ञाने लावला होता. काही काळ मेंदेलेयेवलाही वाटले की इल्मेनिअम हेच एका-मँगॅनीज होय. काही शास्त्रज्ञांनी मोलिब्डेनम व रूदेनिअम यांच्यामध्ये डेव्हिअमला (प्रकरण १० चा अखेरचा भाग पहा) जागा द्यावी असे सुचविले. जर्मन रसायनज्ञ ए. रँग याने वरील जागेत Dv हे चिन्ह ठेवूनही दिले. १८९६ मध्ये पी. बॅरिअरच्या ल्युसिअम या मूलद्रव्याचा कल्पित शोध एखाद्या उल्केप्रमाणे चमकून गेला.

तथापि खऱ्याखुऱ्या एका-मँगॅनीजचा शोध लागला त्यावेळी मेंदेलेयेव हयात नव्हता. त्याच्या मृत्यूनंतर एक वर्षाने म्हणजे १९०८ मध्ये एम. ओगावा या जपानी शास्त्रज्ञाने सांगितले की दीर्घकाळ अपेक्षित असणाऱ्या या मूलद्रव्याचा आपणास मॉलिब्डेनम या दुर्मिळ खनिजात शोध लागला आहे. त्यास ओगावाने "निप्पोनिअम" असे नावही दिले (निप्पॉन या जपानच्या प्राचीन नावाच्या सन्मानार्थ) पण खेदाची गोष्ट अशी की एका नव्या मूलद्रव्याचा शोध लावण्यात आशिया खंड पुन्हा एकदा अयशस्वी ठरले! ओगावा बहुतेक हाफ्निअम संबंधात प्रयोग करत असावा असे दिसते. (त्याचा शोधही नंतरच लागला).

पुढेपुढे दरवर्षी चारदोन मूलद्रव्ये शोधल्याच्या वार्तेची रसायनज्ञांना सवयच पडली. पण एका-मँगॅनीजबाबत मात्र त्यांच्या पदरी निराशाच पडे. त्यांना वाटू लागले की मेंदेलेयेवचीच बहुधा चूक झाली असावी; मँगॅनीज-सदृश मूलद्रव्य अस्तित्वातच नसावे.

या वैचारिक गोंधळावर एच. मोस्लेने अखेर पडदा टाकला. त्याने स्पष्टपणे दाखवून दिले की अशा साधर्मी मूलद्रव्यांना मूलद्रव्याच्या समुदायात निश्चित जागा आहेत. १९२५ मध्ये डब्ल्यु. नोडॅक, आय. टॅकी व ओ. बर्ग यांनी जाहीर केले की मूलद्रव्य क्र. ७९ बरोबरच (ऱ्हेनिअमसह) त्याचे हलक्या वजनातील असे साधर्मी मूलद्रव्य शोधण्यात आले आहे. ते आवर्ती पद्धतीच्या सातव्या गटातील मेसुरिअम हे असून त्याचा क्रमांक ४३ भरतो. Ma व Re अशी दोन नवी चिन्हे क्रमिक पुस्तकांत, शास्त्रीय लिखाणात

आणि खुद्द आवर्ती कोष्टकात अवतीर्ण झाली. ही दोन मूलद्रव्ये खूपच उशिरा शोधली गेली या वस्तुस्थितीकडे त्या संशोधकांचे मुळीसुद्धा लक्ष गेले नाही की त्यात त्यांना वावगेही वाटले नाही. तशी ही मूलद्रव्ये काही फार दुर्मिळ आहेत असाही समज नव्हता. शोध उशिरा लागण्याचे कारण वेगळेच होते. भूरसायनशास्त्रानुसार अंशमात्र मूलद्रव्यांचा एक मोठा गट आहे अशी कल्पना होती; ज्यांची स्वतःची अशी मूलद्रव्ये अस्तित्वात नसतात पण जी थोड्याफार प्रमाणात इतर मूलद्रव्यांच्या खनिजात आलेली असतात. त्यांचे वर्गीकरण अंशमात्र मूलद्रव्ये या नावाने केले जाते. जणू काही एखाद्या राक्षसी तुषारयंत्राच्या सहाय्याने निसर्गाने ती फवारली असतात. या कारणामुळेच अंशमात्र प्रमाणातील मेसुरिअम व ऱ्हेनिअम शोधणे कष्टमय झाले होते. केवल, क्ष-किरण, वर्णपटाचे विश्लेषण करू शकणारा प्रभावी डोळाच त्यांना इतर प्रभावी मूलद्रव्यांच्या पार्श्वभूमीवर पाहू शकतो. अशी एक जुनी म्हण आहे की दोन व्यक्ती जरी एकच काम करत असल्या तरी त्यांचे निष्कर्ष अथवा परिणाम सारखेच असतात असे मुळीच नाही. समान परिस्थितीत सुरू झालेली चरित्रे (किंवा चरित्र-लेखनही) वेगवेगळा दृष्टीकोन स्वीकारतात. मूलद्रव्ये क्र. ४३ व ७९ च्या बाबतीतही असेच काहीसे म्हणावेसे वाटते. त्यांच्यापैकी एकाने दीर्घ प्रवासाअंती का होईना पण स्वतःची अशी जागा मिळविली तर दुसऱ्याचा मार्ग लगेचच अरण्यात लुप्त झाला आणि त्यास चुका, गैरसमज आणि मतभेद यांनी घेरले. हा मेसुरिअमचा मार्ग ठरला.

आवर्ती कोष्टकाच्या ७ व्या गटात ज्या रिकाम्या जागा होत्या त्याबाबत प्रँटला बरेच कुतूहल वाटले. आवर्ती पद्धतीच्या संरचनेबाबत त्याच्या स्वतःच्या अशा काही कल्पना होत्या व त्या त्याने सर्वांपुढे मांडल्या. त्याने कोष्टकाची नव्याने अशी कोणतीच रचना केली नाही, पण प्रत्येक मृदवर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्य एकेका गटास जोडावे असे सुचविले. त्याची ही सूचना बहुतेक साऱ्या रसायनज्ञांनी धुडकावली. पण प्रँटप्रणीत रचनेमध्ये सातव्या गटात, मँगॅनीजखालच्या चार रिकाम्या जागा दृग्गोचर होत होत्या. आणि तोपावेतो न शोधल्या गेलेल्या मूलद्रव्यांशी त्या संबंधित होत्या (ही गोष्ट होती १९२४ मधील). ४३, ६१, ७५ व ९३ असे त्यांचे क्रमांक होते. प्रँटचा ठाम विश्वास होता की केवळ योगायोगामुळे काही तसे झाले नाही, तर कोणत्यातरी एकाच कारणामुळे तसे घडले असणार त्यामुळेच त्या चार मूलद्र-

त्यांच्या शोधात अडथळा येत असावा. पण त्या जर्मन शास्त्रज्ञाने आपले कोष्टक एवढे गुंतागुंतीचे व कृत्रिम केले की ते मान्य होणे अशक्य झाले. शेवटी लागलेल्या ऱ्हेनिअमच्या शोधामुळे त्याच्या चुकांचे प्रथमत: दिग्दर्शन झाले आणि युरेनिअमोत्तर पहिल्या मूलद्रव्याच्या (क्र. ९३) त्याच्या कल्पनेकडे कुणीच ध्यान दिले नाही . पण मूलद्रव्य क्र. ४३ आणि क्र. ६१ यांच्यामध्ये काही समान धागा असावा असा त्यास जो 'साक्षात्कार' झाला होता तो अगदी बरोबर होता.

क्रमाक्रमाने मेसुरिअमच्या अस्तित्वावरील विश्वास उडाला, फक्त मूळच्या संशोधकांचा मात्र तो दृढ होता. उशिराने का होईना, तिसऱ्या दशकात आय. नोडॅकने आपले म्हणणे कायम ठेवले की कालाच्या ओघात आज ना उद्या, ऱ्हेनिअमबाबत घडल्याप्रमाणे मेसुरिअम व्यापारी प्रमाणात उपलब्ध होईल. पण जसजसा काळ जाऊ लागला आणि कोणत्याही खनिजाच्या विश्लेषणातून मेसुरिअम सापडणे दुरापास्त होत गेले तेव्हा रसायनशास्त्रज्ञांचा विश्वास बसू लागला की नोडॅक म्हणतो ते अर्धसत्य आहे, म्हणजे ऱ्हेनिअमबाबतच त्याचे म्हणणे सार्थ आहे. अत्यंत दुर्मिळ खनिजामध्येही मेसुरिअमचा शोध घेतला गेला. काही लोकांची असेही म्हणण्यापर्यंत मजल गेली की मेसुरिअमची खनिजे अद्याप सापडावयाची आहेत. कधीही न ऐकलेले गुणधर्म त्याच्या अंगी असावेत असा समज झाला. भूरसायनशास्त्रज्ञ तर फारच संशयी बनले. काहींनी कल्पनाशक्तीस स्वैर सोडून म्हटले की हे मूलद्रव्य किरणोत्सारी असणे अगदी शक्य आहे. काहीच्या मते मात्र ही अतिशयोक्ती ठरली. पण नेमका हाच विचार लक्ष्यवेधी ठरला.

अणुगर्भीय वास्तवशास्त्राच्या काही संकल्पनांचा येथे विचार करणे बोधप्रद ठरेल. या प्रसंगी एक नवी संज्ञा समोर येईल, ती म्हणजे समभारी किंवा समअणुभारी ही होय. समस्थानीयांची आपण चर्चा केलीच आहे, त्यांनुसार, एकाच मूलद्रव्याचे समान अणुक्रमांक असणारे, पण अणुभार मात्र वेगवेगळा असलेले अणू हे आपल्या ध्यानात असतीलच. समभारी हे वेगवेगळ्या मूलद्रव्यांचे, म्हणूनच वेगवेगळ्या अणुक्रमांकांचे पण समान अणुभार अथवा अणुवस्तुमानांक असणारे असतात. वेगळ्या शब्दात, अणुभारी हे वेगवेगळ्या रासायनिक मूलद्रव्यांचे वेगवेगळा केंद्रीय भार असलेले पण एक समान वस्तुमानांक असणारे समस्थानीयच असतात. उदाहरणार्थ, पोटॅशिअम-४० व अर्‌गॉन-४० विचारात घ्या. त्यांचा केंद्रीय भाग वेगवेगळा (अनुक्रमे

१९ व २०) आहे. त्यांचे वस्तुमानांक समान आहेत कारण त्यांच्या केंद्रकात प्रोटॉन व न्यूट्रॉन वेगवेगळ्या संख्येत असले तरी त्यांची एकूण संख्या समानच भरते ; पोटॅशिअमच्या केंद्रकात १९ प्रोटॉन व २१ न्यूट्रॉन तर अर्गॉनच्या केंद्रकात २० प्रोटॉन व २० न्यूट्रॉन आहेत.

तेव्हा समभारींची कल्पना म्हणजे जणू जादूची कांडी ठरली व तीमुळे मेसुरिअमचे गूढ उघड झाले.

जेव्हा बहुसंख्य स्थिर व रासायनिक मूलद्रव्याचे समस्थानीय असतात हे उघड झाले – एका मूलद्रव्यामागे दहापर्यंत – तेव्हा याबाबत काही नियमबद्धता आढळते काय याचा शास्त्रज्ञ विचार करू लागले. जर्मन सैद्धान्तिक भौतिकशास्त्रज्ञ जे. मॅटॉक याने तिसऱ्या दशकाच्या सुरुवातीच्या काळात असा एक नियम सूत्रबद्ध केला (त्यामागील मूलभूत विचार, पूर्वीच १९२४ मध्ये सोविएत रसायनज्ञ चुकारेव याने मांडला होता). हा नियम असे सांगतो की जर दोन समभारींच्या केंद्रकीय भारातील फरक एकक (एक संख्येएवढा) असेल तर त्यापैकी एक किरणोत्सारी असलेच पाहिजे. उदाहरणार्थ, $^{40}K - {}^{40}Ar$ जोडीत, पहिला समभारी निसर्गतःच क्षीण किरणोत्सार प्रवृत्तीचा असून त्याचे दुसऱ्यात रूपांतरण होते. या प्रक्रियेस K – अपहरण म्हटले जाते.

यानंतर मॅटॉकने समस्थानीयांचे वस्तुमानांक आणि त्याच्या नजीकच्या म्हणजे मॉलिब्डेनम व रूदेनिअम यांच्या समस्थानीयांचे वस्तुतात्क्रमांक यांची एकमेकांशी तुलना केली :

मॉलिब्डेनमचे समस्थानीय	९४	९५	९६	९७	९८	–	१००	–	–
रूदेनिअमचे समस्थानीय	–	–	९६	–	९८	९९	१००	१०१	१०२

या तुलनेतून त्याने कोणता निष्कर्ष काढला ? तर असा की वस्तुमानांक ९४ ते १०२ यातील विस्तृत कक्षा क्र. ४३ च्या समस्थानीयांसाठी बंद आहे. अथवा, वेगळ्या शब्दात असे म्हणता येईल की मेसुरिअमचा स्थिर असा कोणताच समस्थानीय अस्तित्वात असणे शक्य नाही.

असे जर खरोखरीच असेल तर मोठी आगळी विसंगती क्र. ४३ शी जोडलेली असणार. अणुभार ४३ असणाऱ्या मूलद्रव्याशी संबंधित अशा अणूंच्या सर्व जाती किरणोत्सार प्रवृत्तीच्या असावयास पाहिजेत. स्थिर मूलद्रव्यांच्या समुद्रात हा क्रमांक म्हणजे जणू अस्थिरतेचे बेटच ठरते. निव्वळ

रासायनिक सिद्धांतांच्या चौकटीत त्याचे भाकित करणे केवळ अशक्यच. मेंदेलेयेवने जेव्हा त्याच्या एका-मँगॅनीजचे भविष्य वर्तविले तेव्हा त्याच्या स्वप्नीही आले नसेल की आवर्ती पद्धतीतील सातव्या गटाचा हा सभासद पृथ्वीवर अस्तित्वात असणे शक्य नाही.

अर्थात त्यावेळी (म्हणजे तिसऱ्या दशकाच्या सुरुवातीस) मॅटॉकचा हा नियम केवळ एक गृहीत म्हणून समजला गेला. तरीपण ते नियम होण्याच्या लायकीचे आहे असे मानले गेले. आणि तसेच झाले. क्र. ४३ चा शोध लावण्याबाबत निराश झालेल्या रसायनशास्त्रज्ञांचे डोळे मॅटॉकच्या कल्पनेमुळे खाड्‌कन उघडले. आपले कोठे चुकत आहे याची त्यांना प्रकर्षाने जाणीव झाली. तथापि, Ma (मेसुरिअम) हे चिन्ह आणखी काही वर्षांपुरतेतरी आवर्ती पद्धतीतील क्र. ४३ या जागेत राहिलेच. ते सकारणही होते. ठीक आहे, मेसुरिअमचे सर्वच्या सर्व अणू किरणोत्सार प्रवृत्तीचे आहेत, पण खुद्द पृथ्वीवर अस्तित्वात असणारे किरणोत्सारी समस्थानीय युरेनिअम-२३८, थोरिअम-२३२, पोटॅशिअम-४० — आपणास ठाऊक आहेत, कारण त्यांचे अर्धायु, अतिदीर्घ असल्यामुळे आजही ते पृथ्वीवर सापडतात. यावरून, मूलद्रव्य ४३ चा निसर्गात शोध लागण्याच्या शक्याशक्यतेबद्दल आजच निर्णय देणे घाईगर्दीचेच ठरेल.

अशा प्रकारे जुन्या प्रश्नाने पुन्हा डोके वर काढले. मूलद्रव्यांच्या कृत्रिम संश्लेषणाचे नवे पर्व जर उजाडले नसते तर मेसुरिअमच्या चरित्राने कोणती वाट धरली असती कोण जाणे.

सायक्लोट्रॉन शोधानंतर आणि न्यूट्रॉन व कृत्रिम किरणोत्सार यांच्या शोधानंतर केंद्रकीय संश्लेषण शक्य झाले. तिसऱ्या दशकाच्या आरंभी ज्ञात मूलद्रव्यांचे काही कृत्रिम समस्थानीय संश्लेषित केले गेले. युरेनिअमपेक्षाही वजनदार अशा मूलद्रव्यांचेही संश्लेषण शक्य झाले. पण आवर्ती पद्धतीच्या अगदी हृदयापाशी असणाऱ्या रिकाम्या जागांबाबत जे आव्हान उभे होते ते स्वीकारण्याचे धैर्य काही भौतिकशास्त्रज्ञांना दाखविता आले नाही. त्याची अनेक कारणे सांगितली गेली पण महत्त्वाचे कारण म्हणजे केंद्रकीय संश्लेषण — कामातील प्रचंड तांत्रिक गुंतागुंत. पण एक संधी मदतीस आली. १९३६ च्या अखेरीस इ. सेग्रे हा तरुण इटालियन भौतिकशास्त्रज्ञ पदव्युत्तर अभ्यासासाठी बर्कली येथे गेला. याच ठिकाणी जगातील पहिल्या सायक्लोट्रॉनपैकी एक यशस्वीरीत्या कार्यान्वित करण्यात आला होता. या सायक्लोट्रॉन-

च्या कार्यपद्धतीत एक लहानसा घटक साधनात्मक होता. त्याच्या सहाय्याने विद्युतभारित व प्रवेगित कणांची शलाका लक्ष्याकडे दिग्दर्शित केली जात असे. शलाकेचा काही भाग या घटकामार्फत शोषला जात असल्यामुळे तो अतिशय तप्त होत असे व त्यासाठी हा घटक उष्णतारोधक साहित्यापासून – उदा. मॉलिब्डेनमपासून – तयार करणे अतिशय जरूरीचे असे.

मॉलिब्डेनमने विद्युतभारित कण शोषल्यामुळे त्यात केंद्रकीय प्रक्रिया घडून येत. परिणामी मॉलिब्डेनमच्या केंद्रकांचे रूपांतरण इतर मूलद्रव्यांच्या केंद्रकात होणे अगदी शक्य होते. मॉलिब्डेनम हे मूलद्रव्य क्र. ४३ चा शेजारी असल्यामुळे, प्रवेगित ड्यूट्रॉनांची शलाका, मॉलिब्डेनमच्या केंद्रकांचे – सैद्धान्तिकदृष्टचा – मेसुरिअमच्या केंद्रकांमध्ये रूपांतरण करणे शक्य आहे.

सेग्रेची याप्रमाणे निव्वळ कल्पना होती. तो एक समर्थ रेडिओ-रसायनज्ञ होता. त्यास पूर्ण कल्पना होती की मेसुरिअम खरोखरीच तयार झाले तर ते एवढ्या अत्यल्प प्रमाणात तयार होईल की मॉलिब्डेनमपासून ते अलग करणे हे एक प्रचंड प्रयत्नांचे व अतिगुंतागुंतीचे काम ठरेल. त्याने ड्यूट्रॉनांचा भडिमार केलेला ऊर्फ उद्दीप्त मॉलिब्डेनमचा नमुना परत जाताना (पालेर्मो विद्यापीठात) बरोबर घेतला. त्याच्या विद्यापीठीय कामात सी. पेरिअर या रसायनज्ञाने मदत केली.

सुमारे सहासात महिने काम केल्यानंतरच त्यांना आपले प्रयोगात्मक निष्कर्ष एका लघु-पत्राद्वारे लंडनच्या ‘नेचर’ या मासिकात पाठविणे शक्य झाले. एका नव्या रासायनिक मूलद्रव्याच्या इतिहासातील प्रथमतःच करण्यात आलेले कृत्रिम संश्लेषण असा त्या पत्राचा विषय होता. ते मूलद्रव्य म्हणजे क्र. ४३ हे होते. त्याच्याच निष्फळ शोधामध्ये या पृथ्वीवरील देशोदेशींच्या अनेक शास्त्रज्ञांचे श्रम निरर्थक ठरले होते. बर्कली येथील कॅलिफोर्निया विद्यापीठातील एक प्राध्यापक इ. लॉरेन्स यांनी लेखकद्वयास उद्दीप्त मॉलिब्डेनमचा एक नमुना दिला. बर्कली सायक्लोट्रॉनच्या सहाय्यानेच उद्दीप्तीकरणाचे काम केले होते. या नमुन्यामार्फत किरणोत्सारणाची जी उच्च पातळी दाखविली गेली ती कोणत्यातरी एकाच पदार्थामुळे असणे केवळ अशक्य होते. तसेच अर्धायूही असे होते की ते पदार्थ झिर्कोनिअम, निओबिअम, मॉलिब्डेनम व रूदेनिअमचे किरणोत्सारी समस्थानीय असणे शक्यच नव्हते. मूलद्रव्य ४३ चे ते समस्थानीय असणे अगदी शक्य होते.

या मूलद्रव्याचे रासायनिक गुणधर्म जवळजवळ अज्ञात होते, तरीसुद्धा

सेग्रे व पेरिअर यांनी रेडिओ-रासायनिकदृष्टचा त्यांचे विश्लेषण करण्याचे ठरविले. हे मूलद्रव्य ऱ्हेनिअमशी फार जुळते ठरले व काही अभिक्रिया तर ऱ्हेनिअमप्रमाणेच आढळल्या. तथापि, मॉलिब्डेनम व ऱ्हेनिअम अलग करण्यासाठी जे तंत्र उपयोगी पडले त्याचाच उपयोग करून हे नवे मूलद्रव्य ऱ्हेनिअमपासून अलग करणे शक्य झाले.

वरील पत्र पालेर्मो येथून १३ जून १९३७ रोजी लिहिले गेले. ते काही सनसनाटी स्वरूपाचे नव्हते. लेखकद्वयाची केवळ नोंद होत आहे असेच शास्त्रीय वर्तुळात समजले गेले. दिलेली माहिती फारच त्रोटक स्वरूपाची होती. प्रत्यक्षात हवी होती रेडिओ-रसायनात्मक विश्लेषणाची काटेकोर माहिती व निष्कर्ष, जे खात्री पटवितील.

केवळ कालान्तरानेच सेग्रे व पेरिअर यांना संशोधनाचे श्रेय मिळाले. हे खरेच की त्यांनी उद्दीप्त मॉलिब्डेनमपासून नवे मूलद्रव्य मिळविले, पण किती, तर $१०^{-१०}$ ग्रॅम! पूर्वी लक्षात न येणारी अशीच ती मात्रा होती. एवढ्या नगण्य प्रमाणातील पदार्थावर रेडिओ-रसायनज्ञांनी पूर्वी कधीच काम केले नव्हते, संशोधकांनी या नव्या मूलद्रव्यास टेक्निशिअम म्हणावे असे सुचविले (ग्रीक भाषेत त्याचा अर्थ "कृत्रिम" असा होतो). अशा प्रकारे पहिल्या व कृत्रिमरीत्या संश्लेषित केल्या गेलेल्या मूलद्रव्याच्या नावातच त्याचा उद्गम कसा झाला ते सांगण्यात आले. अर्थात, दहा वर्षांनंतरच ते सर्वसाधारणपणे सर्वसंमत झाले.

पेरिअर व सेग्रे यांना उद्दीप्त मॉलिब्डेनमचे आणखी काही नमुने मिळाले व त्यांनी आपला अभ्यास पुढे चालूच ठेवला. इतर शास्त्रज्ञांनीही त्यांचा शोध पडताळून पहिला. १९३९ पावेतो माहीत झाले की ड्यूट्रॉन किंवा न्यूट्रॉनांच्या भडिमारामुळे टेक्निशिअमचे किमान पाच समस्थानीय निर्माण होतात. त्यापैकी काहींची अर्धायु भरपूर काळाची होती. साहजिकच या नव्या मूलद्रव्याचा रासायनिक अभ्यास मोठ्या प्रमाणात करणे शक्य होते. "मूलद्रव्य क्र. ४३ चे रसायनशास्त्र" असे म्हणण्यात काही वावगे ठरेनासे झाले. पण टेक्निशिअम समस्थानीयांचे अर्धायु मोजण्यात मात्र यश मिळाले नाही. याबाबतचे उपलब्ध अहवाल मोठे निराशजनक ठरले कारण, कोणाचेच अर्धायु ९० दिवसांपेक्षा जास्त ठरले नाही. त्यमुळे हे मूलद्रव्य पृथ्वीवर आढळण्याच्या साऱ्या आशा विरून गेल्या.

तेव्हा तिसऱ्या दशकाच्या अखेरीस व चवथ्या दशकाच्या सुरुवातीस टेक्निशिअमचे काय स्वरूप होते? तर कुतूहल बाळगणाऱ्या काही शास्त्रज्ञांचे महागडे खेळणे या पलिकडे त्यास महत्त्व नव्हते. नजरेत भरण्याइतपत प्रमाणात ते साचण्याची आशा ठेवणे हास्यास्पद ठरले. पण केंद्रकीय भौतिक-शास्त्रात एका विस्मयकारक आविष्काराचा शोध लागला आणि टेक्निशिअमचे (केवल त्याचेच नव्हे तर इतरांचेही) भवितव्य पार बदलून गेले. हा आविष्कार म्हणजे मंदगतीच्या न्यूट्रॉनांमार्फत युरेनिअमचे (अणुगर्भीय) विदलन हा होय.

जेव्हा मंदगतीचे न्यूट्रॉन युरेनिअम-२३५ च्या केंद्रकावर आदळतात तेव्हा त्याचा एकंदर परिणाम असा होतो की केंद्रकाचे दोन खंड पडतात. प्रत्येक खंड म्हणजे आवर्ती कोष्टकाच्या मध्यवर्ती भागातील मूलद्रव्याचा केंद्रक असतो, त्यात टेक्निशिअमचाही समावेश आहेच. म्हणूनच विदलन अणुभट्टीस (फिजन रिॲक्टरला, ज्यामध्ये मोठ्या प्रमाणात अणुऊर्जा निर्माण होते) समस्थानीयांचा कारखाना असे जे म्हटले जाते ते उगाचच नव्हे.

सायक्लोट्रॉनमुळे टेक्निशिअमचे सर्वप्रथम संश्लेषण करणे शक्य झाले आणि विदलन-अणुभट्टीमुळे किलोग्रॅममध्ये मोजता येण्याएवढे ते निर्माण करणे रसायनज्ञांना शक्य झाले. पण पहिली विदलन-अणुभट्टी सुरू होण्याच्याही पूर्वी, सेग्रेला १९४० मध्ये प्रयोगशाळेतच युरेनिअमच्या विदलनात वस्तुमानांक ९९ असलेला टेक्निशिअमचा समस्थानीय सापडला होताच. जेव्हा त्याचे नवे जन्मस्थान विदलन-अणुभट्टीत गवसले तेव्हा टेक्निशिअमचे नित्याचे मूलद्रव्य म्हणून रूपांतर झाले (हा प्रकार केवढातरी विरोधाभासी म्हटला पाहिजे). हे मात्र खरे की १ ग्रॅम युरेनिअम-२३५ च्या विदलनातून अवघे २६ मि. ग्रॅ. टेक्निशिअम-९९ निर्माण होते.

एक दुर्मिळ मूलद्रव्य म्हणून टेक्निशिअमचे स्वरूप नाहीसे होताच शास्त्रज्ञांना गोंधळात टाकणाऱ्या अनेक प्रश्नांची उत्तरे मिळत गेली. त्यापैकी पहिला प्रश्न होता त्याच्या अर्धायूबाबत. पाचव्या दशकाच्या सुरुवातीस हे स्पष्ट झाले की टेक्निशिअमच्या तीन समस्थानीयांचे अर्धायु असाधारण ठरावे एवढे दीर्घकाळ आहेत. तसे ते केवळ त्याच्या इतर समस्थानीयांच्याच तुलनेने नव्हे तर किरणोत्सार मूलद्रव्यांच्या नैसर्गिक समस्थानीयांच्या तुलनेतही. टेक्निशिअम-९९ चे अर्धायु २१२००० वर्षांचे भरते, टेक्निशिअम-९८ चे पंधरा लक्ष वर्षांचे आणि टेक्निशिअम-९७ चे त्याहीपेक्षा जास्त म्हणजे

सव्वीस लाख वर्षांचे आहे. ही अर्धायुष्ये दीर्घकालीन आहेत खरी पण पृथ्वीच्या आरंभापासून मूळ टेक्निशिअम साचून रहावे एवढ मात्र दीर्घस्वरूपी नाही. पृथ्वीवर मूळ टेक्निशिअम टिकविले जाईल पण केव्हा, तर त्याचे दीर्घायु १ कोटी ५० लक्ष वर्षांचे असेल तर. उघडच आहे की टेक्निशिअमचा पृथ्वीवर शोध घेणे म्हणजे केवळ मृगजळामागे धावणे यापलिकडे काहीही नाही.

पण नैसर्गिकरीत्या घडून येणाऱ्या केंद्रकीय अभिक्रियांतून टेक्निशिअम निश्चितच निर्माण होऊ शकते, जर मॉलिब्डेनमवर न्यूट्रॉनांचा भडिमार झाला तर. असे मुक्त न्यूट्रॉन पृथ्वीवर कसे निर्माण होत होत असावेत? तर युरेनिअमचे उत्स्फूर्तपणे विदलन झाल्यास ते निर्माण होणे अगदी शक्य असते. ही प्रक्रिया वर सांगितल्याप्रमाणेच असते पण उत्स्फूर्तपणे त्यातून काही न्यूट्रॉन अवतीर्ण होतात. या प्रक्रियेत दोन मोठे खंड ऊर्फ हलक्या वजनांच्या मूलद्रव्यांचे केंद्रक अर्थातच तयार होतात.

या विचारानुसार मॉलिब्डेनमच्या खनिजात टेक्निशिअमचा घेतलेला शोध निष्फळ ठरला तेव्हा शास्त्रज्ञ दुसऱ्या एका शक्यतेकडे वळले. विदलन-अणुभट्टीत जर टेक्निशिअमचे समस्थानीय निर्माण होऊ शकतात तर नैसर्गिकरीत्या घडून येणाऱ्या युरेनिअमच्या विदलनातून ते जरूर निर्माण होत असावेत.

पृथ्वीवरील युरेनिअमचे साठे पायाभूत धरून (पृथ्वीच्या २० कि. मी. जाडीतील युरेनिअमचा सरासरी विपुलता-क्रमांक लक्षात घेऊन) आणि अणुभट्टी-विदलनात तयार होणाऱ्या टेक्निशिअमचे प्रमाण लक्षात घेऊन गणित केल्यास असे दिसून येईल की पृथ्वीवर अगदी १.५ कि. ग्रॅ. टेक्निशिअम आहे. हे एवढे छोटेसे प्रमाण (ते जरी इतर संश्लेषित मूलद्रव्यांपेक्षा अधिक असले तरी) गंभीरपणे विचारात घेणे अशक्यच. तरीसुद्धा शास्त्रज्ञांनी युरेनिअम खनिजांपासून नैसर्गिक टेक्निशिअम मिळविण्याचा प्रयत्न केलाच केला. असा प्रयत्न १९६१ मध्ये बी. केन्ना व पी. कुरोडो या दोघा अमेरिकन रसायनज्ञांनी केला. अशा प्रकारे टेक्निशिअमचा आणखीएक जन्मदिन साजरा झाला — ज्या दिवशी ते निसर्गात शोधले गेले तो दिवस. टेक्निशिअमचे कृत्रिम संश्लेषण जर फसले असते तरीसुद्धा, आज ना उद्या ते पृथ्वीच्या पोटातून बाहेर काढणे नक्कीच शक्य झाले असते.

पण दहा वर्षांपूर्वीच मूलद्रव्य क्र. ४३ बद्दल एक सनसनाटी वार्ता ऐकावयास मिळाली होती. एस. मूर या अमेरिकन खगोलशास्त्रज्ञास सौर-

वर्णपटात टेक्निशिअमनिदर्शक अशा विशिष्ट रेषा आढळल्या. पुढे शक्य झाल्या-बरोबर म्हणजे या मूलद्रव्याचे पुरेसे प्रमाण उपलब्ध होताच त्याच्या वर्णप-टाची नोंद केली गेली. ही वर्णपटीय माहिती व नोडॅक्स आणि बर्गने दिलेली मेसुरिअमबद्दलची माहिती ताडून पाहिली गेली. पण वर्णपट फारच भिन्न प्रकारचा ठरला आणि अखेर मेसुरिअमच्या संशोधकांची चूक स्पष्ट झाली. सौर-टेक्निशिअम आणि भूतलावरील टेक्निशिअम यांचे वर्णपट अगदी समान ठरले. येथे हेलिअमशी तुलना करणे क्रमप्राप्त ठरते. दोन्ही मूलद्रव्यांनी, ती पृथ्वीवर सापडण्यापूर्वीच आपल्या अस्तित्वाचा संदेश सूर्यावरून पाठविला. काही खगोलशास्त्रज्ञांनी सौर-टेक्निशिअमबाबत शंका व्यक्त केली खरी पण १९५२ मध्ये सौर-टेक्निशिअमने पुन्हा एकदा संदेश पाठविला. यावेळी ब्रिटिश खगोल-भौतिकशास्त्रज्ञ पी. मेरिल यास आर. अँन्ड्रोमीडा (देवयानी नक्षत्रातील तारा) व मीरा सेटी अशी काव्यमय नावे असणाऱ्या ताऱ्यांच्या वर्णपटात टेक्निशिअमनिदर्शक रेषा आढळल्या. या रेषांच्या तीव्रतेनुसार असे समजून चुकले की आवर्ती पद्धतीत त्याचे निओबिअम, झिर्कोनिअम, मॉलि-ब्डेनम, रूदेनिअम, ऱ्होडिअम व पॅलॅडिअम हे जे शेजारी आहेत त्यांच्या-एवढाच या ताऱ्यांमध्ये टेक्निशिअमचा साठा आहे. पण वरील मूलद्रव्ये स्थिर तर टेक्निशिअम किरणोत्सार प्रवृत्तीचे आहे. त्याचे अर्धायु जरी सापेक्षतः दीर्घ-कालीन असले तरी वैश्विक फुटपट्टीनुसार ते नगण्य म्हटले पाहिजे. तेव्हा ताऱ्यांमधल्या टेक्निशिअमबाबत एवढेच म्हणता येते की वेगवेगळ्या केंद्रकीय अभिक्रियांमार्फत ते अद्यापी जन्म घेत आहे. ताऱ्यांमध्ये रासायनिक मूलद्र-व्यांचे प्रचंड प्रमाणात उत्पादन होणे चालूच आहे. एका विनोदी खगोल-भौतिकशास्त्रज्ञाने टेक्निशिअम म्हणजे विश्वनिर्मिती सिद्धांताची आम्लपरीक्षा असे म्हटले आहे. मूलद्रव्यांच्या उद्‌गमाबाबतचा कोणताही सिद्धांत असो, त्यामध्ये ताऱ्यांतील केंद्रकीय अभिक्रियांचा क्रम आणि निर्माण होणारे टेक्नि-शिअम यांचे स्पष्टीकरण झालेच पाहिजे.

प्रोमेथिअम

मृदवर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांपैकी एकाचा इतिहास एवढा वैचित्र्यपूर्ण आहे की त्यासाठी स्वतंत्र विचार करणे अत्यावश्यक ठरते. प्रोमेथिअम या नावाने आज ज्ञात असणारे मूलद्रव्य निसर्गात जवळजवळ आढळत नाही (आम्ही

'जवळजवळ अजिबात' हा शब्द न वापरता 'जवळजवळ' असे म्हणतो, त्याचे कारण पुढे स्पष्ट होईलच). केंद्रकीय संश्लेषणमार्गे मूलद्रव्य ६१ चा शोध लागण्यापूर्वी अशी एक घटना घडली की जी विस्मयजनक म्हणूनच वर्णावी लागेल.

मोस्लेच्या संशोधनकामातून हे स्पष्ट झाले की निओडिमिअम आणि समेरिअम यांच्या मधोमध एक अज्ञात मूलद्रव्य अस्तित्वात जरूर आहे. पण एकंदर परिस्थितीचे नीट आकलन होत नव्हते आणि मग मूलद्रव्य ६१ च्या शोधानंतर त्याच्या इतिहासात एकेक नाटयमय प्रसंग घडण्यास सुरुवात झाली.

नव्या मूलद्रव्यांच्या शोधांबाबत "नवे जग" एकंदरीत कमनशिबीच ठरले. या शतकाच्या दुसऱ्या दशकापावेतो ज्ञात झालेली मूलद्रव्ये (प्राचीन कालापासून माहीत असणारी वगळता) युरोपिअन शास्त्रज्ञांनी शोधलेली आहेत. या पार्श्वभूमीवर जेव्हा शिकॅगोच्या बी. हॉप्किन्स, एल. इंटेमा, व जे. हॅरिस या रसायनज्ञांनी १९२६ मध्ये मूलद्रव्य क्र. ६१ चा शोध लावल्याचे समजले तेव्हा अमेरिकेतील शास्त्रीय जगात अत्यानंदाची लाट उसळली तर त्यात नवल वाटू नये.

या फसव्या मृदवर्गीय मूलद्रव्याच्या शोधार्थ निरनिराळया देशातील शास्त्रज्ञ मोठया कसोशीने १९१३ पासून प्रयत्नात होते. तत्पूर्वी त्याचा शोध या मंडळींना लागू नये हे खरोखरीच आश्चर्यकारक म्हटले पाहिजे. हे खरेच की भूरसायनशास्त्रज्ञांनी दाखवून दिले होते की मृदवर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्याच्या कुटुंबातील पहिला अर्धा भाग, ज्यास सेरिअम-मूलद्रव्ये म्हटले जाते (लँथॅनम ते गॅडोलिनिअमअखेर) तो, इट्रिअम-मूलद्रव्ये म्हटल्या जाणाऱ्या दुसऱ्या भागापेक्षा (टर्बिअम ते ल्युटेशिअम) अधिक विपुल प्रमाणात आहे. पण सर्वच्या सर्व वायट्रिअममूलद्रव्ये सापडली तरी सेरिअमगटातील निओडिमिअम व समारिअम यामधली जागा मात्र रिकामी राहिली होती.

एक अगदी ढोबळ खुलासा असा की ६१ क्रमांकाचे मूलद्रव्य केवळ दुर्मिळ नव्हते तर अतिदुर्मिळ म्हटले पाहिजे. इतर साऱ्या मृ. दु. मूलद्रव्यांच्या तुलनेत क्र. ६१ ची विपुलता अत्यंत कमी समजली गेली आणि भूकवचात सापडणाऱ्या इतर मूलद्रव्यातील त्याचे अंशमात्र प्रमाण जाणून घेण्याइतपत उपलब्ध उपकरणे व तंत्रज्ञान विकसित नव्हते. त्यासाठी अधिक संवेदनक्षम पद्धतींची जरूरी होती.

ज्या ज्या खनिजांमध्ये ६१ क्रमांकाचे मूलद्रव्य सापडणे शक्य वाटले ती ती तपासून पाहण्यासाठी त्या अमेरिकन रसायनज्ञांनी क्ष-किरणीय व प्रकाशीय वर्णपटविज्ञानाचे तंत्र वापरून पाहिले. मृ.दु. मूलद्रव्यांच्या इतिहासाशी जे चांगले परिचित होते त्यांनी असेच मत व्यक्त केले की अमेरिकन शास्त्रज्ञांनी स्वीकारलेला मार्ग त्रासदायक आहे कारण, मृ. दु. मू. च्या अभ्यासात वर्णपटीय विश्लेषणाने नेहमीच फसव्या मार्गाने नेले आहे. या तंत्रामार्गे मिळालेले फायदे लक्षात घेऊनही त्यांचे हे मत झाले होते. तथापी, द्वितीय दशकात मात्र वर्णपट विज्ञानाचा पाया पूर्वीइतका लेचापेचा राहिला नव्हता. यामुळे कोणत्याही मूलद्रव्याचे क्ष-किरणवर्णपटाच्या सहाय्याने भाकित करण्यास मोस्लेचा नियम वापरणे शक्य झाले.

त्या अमेरिकन रसायनज्ञांनी जिवापाड मेहेनत घेतली, निरनिराळ्या खनिजांचे अनेक नमुने तपासले आणि १९२६ च्या एप्रिलमध्ये मूलद्रव्य ६१ चा शोध जाहीर केला. या कामात नव्या मूलद्रव्याचा एक कणही त्यांनी मिळविला नव्हता तर क्ष-किरण व प्रकाशीय वर्णपटांच्या सहाय्याने त्याचे अस्तित्व जाणले.

त्या संशोधकांनी या नव्या मूलद्रव्यास इलिअम असे नाव दिले. ज्या इलिनॉइस विद्यापीठात त्यांनी हा शोध लावला ते अशा प्रकारे सन्मानित करावे हा हेतु त्यामागे होता. अशाप्रकारे Il चिन्हाने आवर्ती पद्धतीत आपली जागा पटकावली. पण गंमत अशी की सुमारे अर्ध्या वर्षानेच ६१ क्रमांकाच्या जागेवर हक्क सांगणारे मूलद्रव्य उजेडात आले. एल. रोला व एल. फर्नांडिस या दोघा इटालियन शास्त्रज्ञांनी ते शोधले व त्यास फ्लॉरेंसिअम (Fl) असे नावही दिले. त्यांनी अमेरिकन शास्त्रज्ञांच्या दोन वर्षे आधीच हा शोध (मूलद्रव्य ६१ चा) लावला होता, पण काही अज्ञात कारणांमुळे आपल्या शोधाचे वृत्त देण्यास त्यांना जमले नाही. आपला शोध त्यांनी सीलबंद पाकिटात ठेवून सुरक्षिततेसाठी ते फ्लॉरेन्स ॲकॅडेमीमध्ये ठेवले होते.

पण वेगवेगळ्या व्यक्तींना वेगवेगळ्या मार्गे तसेच निष्कर्ष मिळाले असते तर वरील शोधाची अस्सलता आपोआप सिद्ध झाली असती. तसे झाले असते तर अमेरिकन व इटालियन अशा दोघांनाही आनंदच झाला असता. शोधाचा मान कोणाचा हा प्रश्न काही शास्त्रास नवीन नव्हता. पण मूलद्रव्य ६१ च्या कोणत्याच संशोधकास कल्पनाही शिवली नाही की आपला अग्रेसरत्वाचा दावा थोडक्याच काळात विफल ठरणार आहे, शोध व त्याची Il व

Fl ही दोन चिन्हे म्हणजे ६१ क्रमांकाच्या जागेवर बेकायदा हक्क सांगणारे उपरेच ठरणार आहेत.

या घटनेचा मागोवा घेण्यासाठी आपणास पुढे जाण्याची जरूरी नसून काही काळ मागेच डोकावले पाहिजे. त्यावेळी केवळ माहीतच नव्हत्या अशा काही गोष्टी विचारात घेणे जरूरी आहे. ६१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याच्या शोधाचा जो अहवाल दिला गेला त्याची सुरुवात अशी आहे: "मोस्लेच्या नियमाद्वारे दिग्दर्शित होईपावेतो निओडिमिअम व समारिअम यांच्यामध्ये एखादे नवे मूलद्रव्य अस्तित्वात असेल असा तर्क करण्यास मुळीसुद्धा वाव नव्हता." शास्त्रीय अहवालात आढळणाऱ्या कोरड्या भाषेचा हा एक उत्कृष्ट नमुनाच आहे, सारे काही अचूक भासणारे. पण...

कोण्या एका शास्त्रज्ञाच्या (नंतर नाव सांगूच) निबंधात आलेल्या आवर्ती कोष्टकाची हस्तलिखित प्रत आढळते व त्या प्रतीच्या समासात जर्मन भाषेत लिहिलेला पुढील वैशिष्ट्यपूर्ण शेरा वाचावयास मिळतो (थांबा, इतक्यातच शब्दकोष चाळू नका).

61 ist das von mir 1902 vorhergesagte fehlende Elemente.

सांगावयाचा मुद्दा असा की मूलद्रव्य क्र. ६१ च्या सत्य इतिहासात आपणास या पुस्तकात पूर्वीच आढळलेले एक नाव मोठ्या प्रकर्षाने पहावयास मिळणे जरूर आहे. ते म्हणजे मेंदेलेयेवचा स्नेही आणि मृ. दु. मूलद्रव्यांच्या रसायनशास्त्राचा गाढा तज्ज्ञ अशा बोगुस्लाव ब्रॉनर या एका शास्त्रज्ञाचे.

इलिअमचा शोध लागला आणि शोधकांनी अभिनंदनाचा स्वीकारही केला. तसेच इतर देशातील शास्त्रज्ञांमार्फत आपल्या शोधाची एकदा नव्हे अनेकदा खातरजमा झाल्याचेही त्यांनी ऐकले. ६१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याची वंशावळ लिहावयाची झाल्यास पुढीलप्रमाणे सुरुवात करता येईल: "मोस्लेने त्याचे भाकित केले आणि अमेरिकन शास्त्रज्ञांनी संशोधिले." पण १९२६ च्या नोव्हेंबरमध्ये नेचर या मासिकात विसंगत असे एक टिपण अचानकरित्या प्रसिद्ध झाले. ते दुसऱ्यातिसऱ्या कोणाचे नसून खुद्द ब्रॉनरचेच होते. त्याने आपल्या अमेरिकन मित्रांचे अभिनंदन केले होते, पण वर उल्लेखिलेल्या अहवालाच्या सुरुवातीच्या मजकुराशी आपण सहमत नसल्याचेही सांगितले. ब्रॉनर म्हणतो की मूलद्रव्य ६१ चा शोध अमेरिकनांनी लावला की इटालियन लोकांनी लावला याचे खरोखरीच महत्त्व नाही. शोध लागणे ही निव्वळ

तांत्रिक बाब असते. याची दुसऱ्या दशकातील शास्त्रज्ञांना चांगली जाणीव झाली होती. महत्त्वाचा मुद्दा हा की नव्या मूलद्रव्यांचे भाकित कुणी वर्तविले. ते मोस्लेने वर्तविले? नाही, मग कोणी? तर ते मी स्वतःच म्हणजे बोगुस्लाव ब्रॉनरने...

पण यामुळे ब्रॉनरला जर आपण अमर्यादशील समजलो तर आपण सत्यापासून दूर पळत आहोत असाच त्याचा अर्थ होईल. त्याचा हक्क हा त्याच्या व्यापक सखोल अनुमानावर—विशेषतः मृ. दु. मू. च्या संशोधन-कामावर—आधारलेला होता, आवर्ती पद्धतीमागील अंगभूत तत्त्वांचे जे पुरेपूर आकलन त्यास झाले होते त्यावर आधारलेले होते. या मूलद्रव्यांच्या गुणधर्मात असणाऱ्या सूक्ष्म फेरबदलांची त्यास जी कल्पना आली होती त्याच्या आधारे तो हक्क सांगत होता आणि सरतेशेवटी सर्वस्व वाहणाऱ्या संशोधकाच्या अंगी अंतःस्फूर्तीचा जो झरा पहावयास मिळतो त्यावर आधारलेला होता.

पण या स्तुतीच्या शब्दांमागे जर अस्सल पुराव्याचा भक्कम आधार असेल तरच ते सार्थ ठरतील. त्यासाठी १८८२ कडे वळू या. के. मोसँडरच्या जुन्या डिडिमिअमचा मृत्यु येऊन ठेपला होता. पी. लिकॉक द बॉइसबॉड्रन याने त्यापासून एक नवे मूलद्रव्य, समारिअम, केव्हाच अलग केले होते. बी. ब्रॉनरने अत्यंत गुंतागुंतीच्या रासायनिक विश्लेषणातून तीन वेगवेगळे अणुभार असणारे तीन अंश अलग केले. पण अनेक कारणांमुळे ब्रॉनरला आपले संशोधक पुढे चालू ठेवणे अशक्य झाले आणि १८८५ मध्ये के. ऑर फॉन वेल्सबॅक याने ब्रॉनरच्या पुढे मजल मारली. जुने डिडिमिअम मृत झाले पण प्रेसिओडिअम आणि निओडिमिअम अवतरले. पण मधला जो दोन क्रमांकाचा अंश अथवा शेषभाग होता त्याचे काय? त्याची तर वेळच आली नव्हती. मृ. दु. मूलद्रव्यांचे रसायनशास्त्र गोंधळात पडले होते. खोट्या शोधांच्या गढूळ प्रवाहात नवी मूलद्रव्ये सापडून खुद्द आवर्ती पद्धतच संशयाच्या भोवऱ्यात गटांगळ्या खात होती. पण काळ थांबला नव्हता. मृ. दु. मूलद्रव्यांबाबत निर्माण झालेला गोंधळ हळूहळू विरत गेला. ज्ञात मृ. दु. मूलद्रव्यांनी शिस्तबद्ध मालिकेचे रूप घेतले. आता ब्रॉनरच्या ध्यानात आले की निओडिमिअम व समारिअम यांच्या अणुभारात आढळणारा फरक कोणत्याही दोन नजिकच्या मूलद्रव्यात आढळणाऱ्या फरकाच्या तुलनेने बराच जास्त आहे. या मूलद्रव्यांच्या गटाचे त्यास जे अचूक ज्ञान झाले होते त्याच्या

जोरावर ब्रॉनरने तात्काळ जाणले की साखळीतील निओडिमिअम व समारिअम या भागात, गुणधर्मांबाबत जे बदल आहेत त्यात खंड पडला आहे. शेवटी त्यास १९८२ मध्ये स्वतःच्या कामाची आठवण झाली. त्यामुळे ज्या गोष्टी सुचल्या त्यातून असे निष्पन्न झाले, नव्हे खात्री पटली की निओडिमिअम आणि समारिअम यामधोमध एका अज्ञात मूलद्रव्याचा शोध लागणे शक्य आहे. पण आपल्या मित्राप्रमाणेच –मेंदेलेयेवप्रमाणेच– ब्रॉनरही स्वतःच्या निष्कर्षांबाबत घाईगर्दी करणारा नव्हता. अगदी १९०१ मध्येच त्याने आवर्ती पद्धतीतील मृ. दु. मूलद्रव्यांच्या स्थानाबाबत जेव्हा आपला दृष्टिकोन मांडला तेव्हाच त्याने निओडिमिअम व समारिअम यामधोमध रिकामी जागा सरकविली.

वर आपण पाहिलेच की आवर्ती कोष्टकाच्या हस्तलिखित प्रतीवर ब्रॉनरने जर्मन भाषेत काही मजकूर लिहिला होता. त्याचे आता भाषांतर देणे उचित ठरेल. तो म्हणतो: "गहाळ झालेले मूलद्रव्य ६१ क्रमांकाचे असून १९०२ मध्ये मी त्याचे भाकित वर्तविले होते."

नेचर मासिकास दिलेले टिपण म्हणजे आपली नोंद योग्य प्रकारे व्हावी असा ब्रॉनरचा हेतु होता. यावरून असे म्हणता येईल की ६१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याचा इतिहास लिहिणे सोपे झाले. पण इतिहासाचा वर्ण्य विषय जर खरोखरीच अस्तित्वात असेल तर ते कथन अर्थपूर्ण ठरते. इलिअमपुरता विचार केल्यास असे म्हणता येईल की ते मृतावस्थेतच जन्माला आले.

एकीकडे हट्टी, दुराग्रही लोक Il हे चिन्ह आवर्ती कोष्टकात ६१ क्रमांकाच्या घरात घुसडविण्याच्या प्रयत्नात होते तर तीव्र टीकेच्या भडिमाराखाली हा शोध पडताळून पाहिला जात होता. त्या टिकाकारांतील, सर्वप्रथम प्रँट याच्या काळजीपूर्ण प्रयोगांबद्दल कुणालाच शंका नव्हती, पण त्याचे निष्कर्ष मात्र ६१ क्रमांकाच्या अस्तित्वाबाबत नखभरही सूचक ठरत नव्हते.

१९२६ मध्ये नोडॅक मंडळींनी चाचण्या घेण्यास सुरुवात केली. आपले मेसुरिअम व ऱ्हेनिअमचे (क्र. ४३ व ७५) शोध त्यांनी नुकतेच जाहीर केले होते. ज्यात इलिअम असण्याची त्यांना शंका होती अशी १५ प्रकारची खनिजे त्यांनी तपासली व ते करताना होती नव्हती तेवढी सारी विश्लेषण तंत्रे त्यांनी वापरली. एकूण १०० कि. ग्रॅ. वजनाच्या खनिजांचा तपास केला, पण त्यांना हवे असलेले इलिअम काही गवसले नाही. मग नोडॅकांनी

असा पवित्रा घेतला की जर त्या अमेरिकनांचे निष्कर्ष खरोखरीच अचूक असतील तर आम्हालासुद्धा ते मूलद्रव्य अलग करणे खचितच जमले असते. एवढेच नव्हे तर सदरहू मूलद्रव्य निओडिमिअम किंवा समरिअमपेक्षां एक-कोटयांशाने दुर्मिळ असते तरीसुद्धा आम्ही ते शोधून काढले असते. यावरून दोनच अनुमाने शक्य दिसतात. एकतर उपलब्ध तंत्रज्ञान ते जाणून घेण्यास थिटे पडत असावे किंवा खनिजांचे चुकीचे नमुने घेतले असावेत.

नोडॅकांचा पहिला पवित्रा भूरसायनशास्त्रज्ञांनी नाकारला. त्यांच्या मते मृद्वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांची पृथ्वीतील विपुलता – जी काही असेल ती – सर्वांच्या बाबतीत सर्वसाधारणपणे एकसारखीच आहे. त्यास इलिअम तेवढेच अपवाद आहे असे समजण्याचे काही खास कारण नाही. त्यांनी सुचविले की कॅल्शिअम व स्ट्राँशिअम यांच्या खनिजात इलिअमचा तपास करावा. त्यांचे म्हणणे असे की सर्व मृ. दु. मूलद्रव्ये खासकरून त्रिसायुज्जी आहेत, पण काही द्वि-किंवा चतर्सायुज्जी पण आढळतात. उदाहरणार्थ, युरोपि-अमच्या बाबतीत काहीशा सहजतेने दोन हा भार असणारे कॅटायन अस्तित्वात येतात. त्यांचा आकारही कॅल्शिअम व स्ट्राँशिअमच्या कॅटायनशी मिळताजुळता असतो आणि नंतरच्यास संबंधित अल्कधर्मी मृदवर्गीय खनिजात विस्थापित करू शकतात. कदाचित, इलिनिअममध्ये अशी प्रवृत्ती अधिक तीव्र असेल व म्हणूनच ते स्ट्राँशिअमच्या दुर्मिळ, नैसर्गिक खनिजात सापडणे शक्य आहे. एका गृहिताने दुसऱ्या गृहिताची जागा घेतली, एकातून दुसरे गृहित निर्माण झाले. असेच काहीसे घडले आणि नोडॅकमंडळींनी अनेक अल्कधर्मी मृद्वर्गीय खनिजांची विश्लेषणे केली, पण परत एकदा त्यांचे प्रयत्न व्यर्थ ठरले.

असे वाटू लागले की इलिनिअमचा शोध संपुष्टात आला. अधूनमधून कोणतेतरी निष्कर्ष बाहेर येत पण ते अविश्वसनीय ठरत.

भूस्थित खनिजात इलिनिअम शोधणे रसायनज्ञांना अशक्य ठरले. निस-र्गाने "बंद" केलेले "पाकिट" उघडण्यास अखेर भौतिकशास्त्रज्ञ पुढे सरसा-वले. पण ते जेव्हा उघडण्यात आले तेव्हा शास्त्रज्ञ (पहिल्यांदाच नव्हे!) नऊमेद झाले. पाकिट रिकामेच होते.

यावेळी मूलद्रव्य क्र. ६१ चे भवितव्य, मूलद्रव्य क्र. ४३ शी, म्हण-जेच टेक्निशिअमशी सरळसरळ संबंधित असल्याचे दिसते. मॅटॉक या सैद्धां-तिक भौतिकशास्त्रज्ञाने जे नियम सांगितले होते त्यानुसार टेक्निशिअमचे

स्थिर समस्थानीय तत्त्वतः असूच शकत नाहीत. या नियमानुसार मूलद्रव्य ६१ च्या स्थिर समस्थानियांच्या अस्तित्वासही बाधा येते. इलिनिअम मृत झाले, पण मूलद्रव्य ६१ टिकलेच पाहिजे.

पण ते खरोखरीच अस्तित्वात नसेल तर? आय. नोडॅकनी एक धाडसी कल्पना मांडली की इलिनिअम (काही वेळ आपण याच नावाचा उपयोग करू) हे पृथ्वीवर होते पण आधीच्या भूतरशास्त्रीय कालखंडात. पण ते तीव्र स्वरूपाचे किरणोत्सार मूलद्रव्य होते व त्याचे अर्धायुही अल्पकालीन स्वरूपाचे होते. त्यामुळे ते लवकरच ऱ्हास पावले आणि भूतलावरून नाहीसे झाले. पण या विचाराशी जर आपण सहमत झालो तर दोन अत्यंत अशक्य स्वरूपांची गृहिते करणे भाग पडेल. पहिले म्हणजे आवर्ती कोष्टकाच्या मध्यभागी असणाऱ्या इलिनिअमचे स्थिर समस्थानीय नाहीत. दुसरे हे की त्याच्या समस्थानियांची अर्धायु ही पृथ्वीच्या वयोमानापेक्षा कितीतरी कमी कालावधींची असली पाहिजेत.

खरे तर आवर्ती पद्धतीतील इलिनिअमच्या शेजाऱ्यांचे (निओडिमिअम व समारिअम) कितीतरी (प्रत्येकी सात) नैसर्गिक समस्थानीय असून त्यांच्या वस्तुमानांकात विस्तृत मर्यादा – १४२ पासून १५४ पर्यंतची – आढळते. मूलद्रव्य ६१ चा कोणताही शक्य समस्थानीय याच मर्यादेतील वस्तुमानांकाचा असावयास हवा. तर मग या मर्यादेत असणारे कोणतेही इलिनिअम-समस्थानीय अस्थिर असले पाहिजेत असेच म्हणणे भाग आहे.

एकंदरीत, मूलद्रव्य ६१ पृथ्वीवर सापडेल ही आशा मॅटॉकच्या नियमाद्वारे गाडलीच जाते. पण तेवढ्यात आशेचा किरण पहावयास मिळतो. ठीक आहे. इलिनिअमचे सर्वच्या सर्व समस्थानीय किरणोत्सार प्रवृत्तीचे आहेत असे समजू या. पण कोणत्या मर्यादेपर्यंत? कदाचित त्यापैकी काहींचा अर्धायु काल खूप मोठा असेल. एवढे खरे की त्या वेळी समस्थानियांचे अर्धायु कसे ठरवावे याचे सैद्धांतिक तत्त्व अवगत झाले नव्हते. ६१ क्रमांकाचा शोध अंधारातच चालू ठेवणे भाग होते. भौतिकशास्त्रज्ञांना असेच वाटत होते की केवळ केंद्रकीय संश्लेषणद्वारेच ६१ क्रमांकाचे कोडे सुटेल. तसे प्रकर्षाने वाटण्यास टेक्निशिअमचे उदाहरण त्यांच्या पुढे होतेच.

जणू काही अमेरिकन शास्त्रज्ञांचा गेलेला सन्मान पुन्हा मिळविण्यासाठी की काय ओहाय विद्यापीठातील दोघा भौतिकशास्त्रज्ञांनी ६१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याचे कृत्रिम संश्लेषण करण्याचा पहिला प्रयोग १९३८ मध्ये हाती

घेतला. त्यांनी निओडिमिअमच्या लक्ष्यावर वेगवान ड्युट्रॉन्सचा (जड हायड्रोजनचे केंद्रक) भडिमार केला. त्यांची अशी समजूत झाली की $Nd + d \rightarrow 61 + n$ या प्रक्रियेमुळे ६१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याचे समस्थानीय अस्तित्वात आले आहेत. त्यांचे निष्कर्ष फलदायी ठरणारे नव्हते तरीसुद्धा नव्या मूलद्रव्याचा समस्थानीय मिळाला आणि त्याचा वस्तुमानांक १४४ व अर्धायु १२.५ तासांचे आहे असे ठरले.

पण संशयखोरांनी पुन्हा उचल घेतलीच. त्यांच्या मते हे निष्कर्ष चुकीचे असून तसे म्हणण्यास सबळ कारणही त्यांच्यासमोर होते. प्रयोगार्थ वापरण्यात आलेले निओडिमिअमचे लक्ष्य आदर्शवत शुद्धतेचे असेलच अशी कोणासच खात्री देता येत नव्हती. शिवाय, पाहिजे तेच मिळाले हे ठरविण्याची रीत अगदी विश्वसनीय आहे असे समजणे शक्यच नव्हते. प्रकाशीय व क्षकिरण वर्णपटासारख्या साध्या, सरळसोप्या पद्धतींनी मूलद्रव्य ६१ चे अस्तित्व तर मागेच, १९२६ च्या अभ्यासातून दर्शविले होते. तसा निष्कर्ष रेडिओ-मितीमार्गे मिळालेल्या माहितीतून काढला होता.

खरे तर या कामात रसायनशास्त्र मुळीसुद्धा अंतर्भूत नव्हते आणि त्या गूढ व किरणोत्सारी मूलद्रव्याचे रासायनिक स्वरूपही ठरविलेले नव्हते. एखादा सहज विचारू शकतो की १९३८ हे वर्ष मूलद्रव्य ६१ च्या प्रत्यक्ष शोधाचे साल धरावयाचे की नाही? त्यावेळी हे मूलद्रव्य संश्लेषित करण्याचे सुसंगत प्रयत्न सुरू झाले एवढेच फार तर म्हणता येईल.

काळ पुढे पुढे सरकतच होता आणि भडिमार करण्यायोग्य कणांची संख्या दिवसेंदिवस वाढत होती. लक्ष्यासाठी इतर मृ. दु. मूलद्रव्यांचा वापर होऊ लागला आणि मोजमापाच्या तंत्रात सुधारणा होत गेल्या. इलिनिअमच्या इतर समस्थानियांबद्दल शास्त्रीय मासिकात अहवाल, टिपणे प्रसिद्ध होऊ लागली. कृत्रिमरित्या जरी निर्मिती झाली होती तरीसुद्धा मूलद्रव्य ६१ सत्यसृष्टीत येऊ पाहात होते. ते सायक्लोट्रॉनमध्ये तयार केले गेले म्हणून त्याचे नामांतर सायक्लोनिअम असे केले गेले. पण त्याचे Cy हे चिन्ह आवर्ती कोष्टकातील ६१ क्रमांकाच्या जागेत फार काळ राहू शकले नाही.

संशोधकांनी सायक्लोनिअमचा किरणोत्सार संदेश टिपला खरा पण त्याचा एक कणसुद्धा ते पाहू शकले नाहीत. तसेच त्याचा वर्णपटही कोणी नोंदला नव्हता. केवळ अप्रत्यक्ष पुराव्यांमार्फत त्याचे अस्तित्व जाणवले होते.

विसाव्या शतकाच्या शास्त्रेतिहासास अनेक आश्चर्यकारक शोध पहावयास

मिळाले त्यापैकी एक महत्तम शोध म्हणजे मंदगती न्यूट्रॉनांच्या प्रभावाखाली होणारे युरेनिअमचे विदलन होय. त्यामध्ये युरेनिअम-२३५ या समस्थानियाच्या केंद्रकाचे दोन खंड होतात व प्रत्येक खंड म्हणजे आवर्ती कोष्टकाच्या मध्यभागी असणाऱ्या मूलद्रव्यांपैकी कोणत्यातरी एका मूलद्रव्याचा समस्थानीय असतो. जस्तापासून ते गॅडोलिनिअमपर्यंतच्या तीसएक मूलद्रव्यांचे समस्थानीय या मार्गे तयार करता येतात. मूलद्रव्य ६१ च्या समस्थानियांची अशी निर्मिती बऱ्यापैकी संख्येत होत असून विदलनात निर्माण होणाऱ्या एकूण उत्पादित संख्येत त्यांचे प्रमाण सुमारे ३ टक्के असते.

पण हे ३ टक्के प्रमाण अलग करणे म्हणजे मोठे कठीण कर्म असल्याचे ध्यानी आले.

त्यासाठी जे. मेरिन्स्की, एल. ग्लेंडेलिन व चार्ल्स कोरिएल या अमेरिकन रसायनज्ञांनी आयन अदलाबदलयुक्त रंगलेखन हे नवे रासायनिक तंत्र वापरले.

काही खास प्रकारची व उच्च रेणुभार असणारी संयुगे आयन-आदलाबदल साधणारी रेझिने (राळ) म्हणून ओळखली जातात व मूलद्रव्ये एकमेकांपासून अलग करण्यासाठी या तंत्रात वापरली जातात. ही रेझिने चाळणीप्रमाणे काम करतात आणि संबंधित मूलद्रव्य व रेझिन यांच्यातील बंधाच्या वाढत्या शक्तीनुसार या चाळणीतून चाळली जातात. अशा चाळणीच्या तळाशी शास्त्रज्ञांना खराखुरा खजिनाच सापडला व तो म्हणजे १४७ व १४९ हे वस्तुमानांक असणारे मूलद्रव्य, ६१ चे दोन समस्थानीय!

अखेरीस इलिनिअम, फ्लॉरेशिअम आणि सायक्लोनिअम ही नावे मिळालेल्या ६१ क्रमांकाच्या मूलद्रव्यास नक्की नाव देण्याची वेळ आली तर. संशोधकांच्या आठवणीनुसार असे दिसते की हे नाव शोधण्याचे काम, प्रत्यक्ष मूलद्रव्य शोधण्याच्या कामापेक्षाही अवघड ठरले. त्यांच्यापैकी एम. कोरियल याच्या पत्नीने प्रोमेथिअम हे नाव सुचवून हा पेचप्रसंग सोडविला. ग्रीक पुराणात अशी कथा आहे की प्रोमेथिअसने आकाशातील अग्नी पळविला आणि पृथ्वीवरील मानवास दिला. तेव्हा शिक्षा म्हणून प्रोमेथिअसला निर्घृण छळवाद भोगावा लागला. या दृष्टीने नव्या मूलद्रव्याचे प्रोमेथिअम हे नाव मोठे समर्पक ठरते. केंद्रकीय विदलनमार्गे मिळणाऱ्या ताकदीहून बऱ्यापैकी प्रमाणात नवे मूलद्रव्य मिळविता येते या घटनेचे ते केवळ प्रतिमात्मक नाव नसून मानवाचे युद्धाच्या गिधाडामार्फत लचके तोडले जातील ही धोकादायक गर्भित ताकीदही त्यात अंतर्भूत आहे.

प्रोमेथिअम १९४५ मध्ये मिळविले गेले, पण त्याबाबतचा पहिला वृत्तांत १९४७ मध्ये प्रकाशित झाला. १९४८ च्या २८ जून रोजी सिरॅकस येथे अमेरिकन केमिकल सोसायटीचे जे अधिवेशन झाले त्यात भाग घेणाऱ्यांना प्रोमेथिअमच्या संयुगांचे पहिले नमुने प्रथमतःच पहावयास मिळाले. ते होते पिवळ्या रंगातील क्लोराइड व गुलाबी रंगातील नायट्रेट—प्रत्येकी ३ मि. ग्रॅ. वजनाचे. मेरी क्यूरीचा शुद्ध रेडिअमक्षाराचा पहिला नमुना आणि वरील पहिले नमुने यात महत्त्वाचे कोणते हा प्रश्न कधीच सुटण्यासारखा नाही. शास्त्राच्या श्रेष्ठ कल्पकतेपोटी प्रोमेथिअम जन्मास आले. आज प्रोमेथिअम दहा ग्रॅमच्या काही पटीत निर्माण होते आणि त्याच्या बहुतेक साऱ्या गुणधर्मांचा अभ्यास झाला आहे.

मॅटॉकच्या नियमाने पृथ्वीवरील प्रोमेथिअमचे अस्तित्व नाकारले होते, पण हे नाकारणे अगदी निरपेक्ष अथवा केवळ स्वरूपाचे म्हणता येत नाही. भूस्तरातील प्रोमेथिअमचा शोध सार्थ ठरत नाही याचे कारण एवढेच की पृथ्वीच्या वयाशी तुलनायोग्य अशा अर्धायूंचे त्याचे समस्थानीय नाहीत.

पण याबाबतीत केंद्रकीय विदलन हा नैसर्गिक प्रोमेथिअमचा दांडगा शत्रू ठरतो. संश्लेषित अशा त्याच्या दर नव्या समस्थानियामुळे पृथ्वीत त्याचा शोध लागण्याची शक्यता दिवसेंदिवस संकोच पावत आहे. या समस्थानियांचे अर्धायु अल्पकालीन असून त्यातल्यात्यात अधिकतम अर्धायु केवळ दिसून आले आहे. ते अर्धायु केवळ ३० वर्षांचे असल्याचे निष्पन्न झाले आहे. थोडक्यात असे म्हणता येते की एक ग्रह म्हणून जेव्हा पृथ्वी अस्तित्वात आली तेव्हा प्रोमेथिअमचा एक कणसुद्धा तीवर शिल्लक नसणार. असे म्हणताना आम्हास हे अभिप्रेत आहे की मूलद्रव्ये अस्तित्वात येण्यावेळची आदिम प्रक्रिया विचारात घेतली आहे. वर जी चर्चा केली आहे तीमध्ये पृथ्वीवर नैसर्गिक अशा केंद्रकीय विदलनातून आज अस्तित्वात येऊ पाहणाऱ्या व दुय्यम अशा प्रोमेथिअमच्या शोधाबद्दल म्हटले आहे.

युरेनिअमच्या अशा अचानकरित्या घडणाऱ्या विदलनातून निर्माण होणाऱ्या कणांमध्ये अखेर टेक्निशिअम सापडलेही, कारण उत्पादित प्रोमेथिअममध्ये टेक्निशिअमचे समस्थानीय असणे शक्य असते. तज्ज्ञांच्या अंदाजानुसार युरेनिअमच्या अचानक विदलनातून सबंध पृथ्वीवर किती प्रोमेथिअम अस्तित्वात येऊ शकते तर सुमारे ७८० ग्रॅम! अशा नैसर्गिक प्रोमेथिअमचा शोध घेणे

म्हणजे बैकाल सरोवरात मिठाचे पोते टाकून नतर एकेका रेणूचा शोध घेण्यासारखेच आहे.

पण हे महाकठीण काम १९६८ मध्ये पार पाडले गेले. नैसर्गिक टेक्निशिअमचा शोध लावणारे रसायनज्ञ पी. कुरोडा व काही अमेरिकन शास्त्रज्ञ यांनी मिळून पिचब्लेंडी या युरेनिअमच्या खनिजात प्रोमेथिअमच्या समस्थानियाचा (वस्तुमानांक १४७) शोध लावला. मूलद्रव्य क्र. ६१ च्या इतिहासातील हा अखेरचा टप्पा होय.

टेक्निशिअमप्रमाणेच प्रोमेथिअमच्या शोधासंबंधी दोन तारखा देता येतात.

यापैकी पहिली तारीख म्हणजे त्याच्या संश्लेषणाची १९४५ ही आहे. त्यावेळी पहिल्या दोन समस्थानियांची निर्मिती मंदगतीचे न्यूट्रॉन वापरून केली गेली, पण टेक्निशिअम मात्र सरळसरळ केंद्रकीय प्रक्रियातून तयार केले गेले. यामुळे इतर सर्वच्या सर्व संश्लेषणात्मक मूलद्रव्यांपैकी प्रोमेथिअमचे उदाहरण मोठे वैशिष्टचपूर्ण ठरते.

दुसरी तारीख म्हणजे नैसर्गिक प्रोमेथिअमचा शोध लागला ती होय. या कामगिरीस एक आगळेच महत्त्व आहे, कारण रासायनिक व भौतिकशास्त्रीय विश्लेषणाच्या पद्धती आत्यंतिक मर्यादिपर्यंत ताणल्या गेल्या. एवढे खरे की ही कामगिरी म्हणजे निव्वळ सैद्धांतिक महत्त्वाची ठरते, कारण व्यावहारिक उपयोगास उपयुक्त ठरेल एवढे नैसर्गिक प्रोमेथिअम मिळविण्याची आशा कोणालाच बाळगणे शक्य नाही.

ॲस्टाटाइन आणि फ्रान्सिअम

१९२५ च्या जुलैमध्ये ब्रिटिश शास्त्रज्ञ डब्ल्यु. फ्रेंड पॅलेस्टाइनला गेला होता. एक यात्रेकरू म्हणून तो गेला नव्हताच नव्हता पण स्वतः पुराणवस्तुसंशोधक किंवा हौशी प्रवासी नसल्यामुळे तसेही काही प्रयोजन नव्हते. मग त्या परक्या भूमीस त्याने कोणत्या कारणांसाठी भेट दिली होती? तर एक रसायनज्ञ या नात्याने. त्याच्या बाडबिस्ताऱ्यात बऱ्याच रिकाम्या बाटल्या पडल्या होत्या व मृत समुद्रातील पाणी त्यातून न्यावयाचे होते. या पाण्यात अत्यधिक प्रमाणात क्षारपदार्थ विरघळलेले आढळतात व त्यासाठीच हा समुद्र ख्यातनाम आहे. या पाण्यात मासे राहूच शकत नाहीत आणि माणूस न बुडता तरंगू शकतो. या पाण्याची घनताच तेवढी अत्यधिक आहे.

अशी ही खिन्नस्वरूपी बायबलकालीन भूमी खरी, पण फ्रेंडचा उत्साह काही कमी करू शकली नाही. त्या मृत समुद्रात कोणासच न सापडलेले एका-आयोडिन व एका-सिशीअम आपण शोधून काढावे अशी त्याची तीव्र इच्छा होती. समुद्रजलात अल्कधर्मी धातूंचे अनेक क्षार तसेच हॅलोजेनवर्गीयांचे क्षार विरघळलेले असतात. मृत समुद्राच्या पाण्यात तर त्यांचे प्रमाण अपवादात्मरित्या उच्च असणार. जेवढ्या जास्त प्रमाणात तशी शक्यता असेल तेवढ्या अधिक प्रमाणात त्यात अतिवजनदार हॅलोजेनवर्गीय व अल्कधर्मी धातु आणि अज्ञात मूलद्रव्ये असणार यात शंका नाही.

या दिशेने शोध करणारा फ्रेंड काही एकुलताएक रसायनज्ञ नव्हे. १९ व्या शतकाच्या अखेरीस तसे काही गुपित राहिले नव्हते आणि एका-सिशीअमचा शोध कुठे घ्यावा या प्रश्नास कोणीही रसायनज्ञ सहजगत्या उत्तर देऊ शकत होता. अगदी उघड उत्तर हे होते की जेथे जेथे अल्कधर्मी धातूंची संयुगे आणि हॅलोजेन नैसर्गिकरित्या सापडतात तेथे म्हणजेच, पोटॅशिअम खनिजांचे साठे, समुद्रजलात, निरनिराळ्या खनिजांमध्ये, खोल विहिरींच्या पाण्यात विशिष्ट जातींच्या सागरी-शेवालात त्यांचा शोध घेणे जरूरी असते. थोडक्यात शोधस्थानांच्या जागा विस्तृतपणे विखुरलेल्या असतात.

पण एका-आयोडीन व एका-सिशीअम शोधण्याचे सर्व प्रयत्न निष्फळ ठरले व फ्रेंडही काही त्यास अपवाद नव्हता.

१९ व्या शतकाच्या शेवटच्या दशकांकडे थोडेसे वळून पाहू या. मेंदेलेयेवने जेव्हा आपली आवर्ती पद्धती विकसित केली तेव्हा त्यात बिस्मथ ते युरेनिअमच्या दरम्यान अज्ञात मूलद्रव्यांच्या अनेक जागा रिकाम्या होत्या. पण किरणोत्सार गुणधर्माच्या शोधानंतर मात्र या रिकाम्या जागा भराभर भरू लागल्या. पोलोनिअम, रेडिअम, रेडॉन, अॅक्टिनिअम व शेवटी प्रोटॅक्टिनिअम. उशीर झाला तो एका-आयोडाइन व एका-सिशीअम यांना. पण ही वस्तुस्थिती शास्त्रज्ञांना काही फारशी त्रासदायक ठरली नाही. ही अज्ञात मूलद्रव्ये खरे तर किरणोत्सार मूलद्रव्ये होती आणि बिस्मथपेक्षा वजनदार असणाऱ्या मूलद्रव्यांचे किरणोत्सरण हे सर्वसामान्य वैशिष्टच असते याबाबत कोणासही संदेह राहिला नव्हता. आज ना उद्या रेडिओमितोमुळे मूलद्रव्य ८५ व ८७ चे अस्तित्व उघड होणारच होते.

युरेनिअम व थोरिअम यांच्या नैसर्गिक समस्थानियांपासून, क्रमाक्रमाने सुरू होणाऱ्या किरणोत्सारी रूपांतरणातून दुय्यम रासायनिक मूलद्रव्ये तयार

होतात. २० व्या शतकाच्या पहिल्या दशकामध्ये आवर्ती पद्धतीच्या अखेरीस असणाऱ्या मूलद्रव्यांचे म्हणजे बिस्मथ ते युरेनिअमचे सुमारे चाळीस समस्थानीय शास्त्रज्ञांना उपलब्ध होते. ही रेडिओमूलद्रव्ये तीन किरणोत्सार कुटुंबांची मिळून होती व थोरिअम-२३२, युरेनिअम-२३५ व युरेनिअम-२३८ अशी त्या कुटुंबांना नावे मिळाली. प्रत्येक किरणोत्सारी मूलद्रव्याने आपला प्रतिनिधी या कुटुंबाकडे धाडला होता, पण त्यास एका-आयोडाइन व एका-सिशीअम यांचाच काय तो अपवाद होता. यामुळे अशी अनपेक्षित कल्पना उभी राहिली की एका-आयोडीन व एका-सिशीअम हे किरणोत्सारीच नसावेतच. पण तसे का? या प्रश्नाचे उत्तर देण्यास मात्र कोणीही धजले नाही. वरील (गैर) समजुतीखाली असे वारे वाहू लागले की युरेनिअम-खनिजांमध्ये निरपवादपणे जरी सर्वच्या सर्व किरणोत्सार मूलद्रव्ये आढळतात तरी या दोन मूलद्रव्यांचा शोध घेणे निरर्थक ठरते.

एका-आयोडीन व एका-सिशिअमच्या स्थैर्याबाबतचे गृहित काही पडताळले नाही. पण किरणोत्सारी कुटुंबांमध्ये या मूलद्रव्यांचे समस्थानीय शोधण्याचे सारे प्रयत्न वाया गेले. पण आशेचा किरण दाखविणारा एक मार्ग मात्र शिल्लक होता. एखाद्या किरणोत्सारी समस्थानियाचा ऱ्हास होण्यामागे एक किंवा दोन यंत्रणा असू शकतील का? उदाहरणार्थ, एखादा समस्थानीय आल्फा व बीटा अशा दोन्ही कणांचे उत्सर्जन करीत असणे शक्य नाही काय? तर मग अशा समस्थानीयांच्या ऱ्हासापासून निर्माण होणारे पदार्थ म्हणजे दोन वेगवेगळ्या मूलद्रव्यांचे समस्थानीय असणार आणि या समस्थानियांपासून नंतर किरणोत्सारी रूपांतरणातूनच ज्या मालिका तयार होणार त्या शाखांप्रमाणे वेगवेगळ्या असणार. ही समस्या दीर्घकाळ चर्चिली गेली आणि काही समस्थानियांच्या बाबतीत तसा काही प्रकार होत असावा असेही जाणवले.

१९१३ मध्ये ए. क्रॉन्स्टन या ब्रिटिश शास्त्रज्ञाने MsTh = II (ॲक्टिनिअम-२२८ चा समस्थानीय) या रेडिओमूलद्रव्याबाबत काही प्रयोग केले. या समस्थानियामार्फत बीटा कणांचे उत्सर्जन होते व थोरिअम-२२८ मध्ये त्याचे रूपांतर होते. पण क्रॉन्स्टनने असे पाहिले की त्यापासून अगदी क्षीण असे आल्फा उत्सर्जनही (ऱ्हास) होत असले पाहिजे. ते जर खरे असेल तर ऱ्हासापोटी जन्माला येणारा पदार्थ म्हणजे दीर्घप्रतिक्षा केलेला एका-सिशीअमच असणार. ही प्रक्रिया पुढीलप्रमाणे दाखविली जाते यात शंका नाही.

$$^{228}_{89}Ac \xrightarrow{\alpha} {}^{224}87$$

पण क्रॉन्स्टन फारसा खोलात न शिरता त्याने केवळ स्वत:च्या निरीक्षणांचे वृत्त दिले. आणि पुढील धागा पकडला नाही.

एक वर्षानंतरच एस. मेयर, जी. हेस आणि एफ. पॅनेथ या व्हिएन्ना-च्या तीन रेडिओरसायनज्ञांनी युरेनिअम-२३५ कुटुंबियांपैकी ॲक्टिनिअम-२२७ हे समस्थानीय अभ्यासिले. त्यांनी आपले प्रयोग पुन:पुन्हा करून पाहिले व सरतेशेवटी आपल्या संवेदनशील उपकरणांद्वारे कोणत्यातरी अज्ञात उगमस्थानातून उत्सर्जित होणारे आल्फा कण पाहिले. निरनिराळ्या समस्थानियांमार्फत उत्सर्जित होणाऱ्या आल्फा कणांचा हवेत विवक्षित असा सरासरी मार्ग असतो (काही सेंटीमिटरचा). त्या ऑस्ट्रिअन शास्त्रज्ञांच्या प्रयोगातील आल्फा कणांचा सरासरी मार्ग ३.५ से. मी. चा होता. कोणत्याही ज्ञात व आल्फा कणविषयक सक्रीय असणाऱ्या समस्थानिय आल्फा कणांचा हा सरासरी मार्ग आढळत नाही. व्हिएन्ना रेडिअम इन्स्टिटयूटच्या शास्त्रज्ञांनी यावरून असा निष्कर्ष काढला की हे कण म्हणजे एखाद्या खास अशा बीटा कणविषयक सक्रीय असणाऱ्या ॲक्टिनिअम-२२७ च्या आल्फा ऱ्हासातून तयार झाले असणार. अशा ऱ्हासातून निर्माण होणारा पदार्थ हा मूलद्रव्य ८७ चाच समस्थानीय असावयास हवा.

हा शोध नव्याने केल्या जाणाऱ्या प्रयोगांद्वारे पडताळून पाहणे आवश्यक होते आणि ऑस्ट्रिअन शास्त्रज्ञ तशा तयारीतही होते. एवढयात पहिले महायुद्ध सुरू झाले.

त्यांनी ॲक्टिनिअम-२२७ चे आल्फा-उत्सर्जन निश्चितच पाहिले आणि त्याचा अर्थ असाच होते की त्यांच्या उपस्थितीत मूलद्रव्य ८७ चे अणु तयार झाले. पण ते सिद्ध करणे जरूरी होते. त्यांचे निष्कर्ष खोटे पाडणे सोपे होते. संशयखोर असेच म्हणाले की निरीक्षिलेली आल्फाकण सक्रियता ही फारच क्षीण स्वरूपाची होती व म्हणूनच बहुधा चुकीचे निष्कर्ष काढले असावेत. इतर काही म्हणाले की शेजारच्या प्रोटॅक्टिनिअमच्या समस्थानिया-मार्फतही आल्फाकणांचे उत्सर्जन झाले व त्याचा सरासरी मार्ग ३.५ से. मी. शी बराचसा जुळता असल्यामुळे प्रोटॅक्टिनिअमच्या भेसळीमुळे चूक होणे शक्य आहे.

खरे म्हणजे मूलद्रव्ये ८५ व ८७ अनेकदा शोधली गेली आणि त्यांना डॅसिनम व मोल्डाव्हिअम; अल्कलिनिअम व हेल्वेशिअम, किंवा लेप्टिनिअम

व अँग्लो-हेल्व्हेशिअम अशी नावे दिली गेली. पण ती सारी पोकळी व्यापणारी ठरली.

असे आढळते की थोरिअम-२३२ कुटुंबातील सर्वच्या सर्व समस्थानियांच्या वस्तुमानांकास चारने भाग जातो. यामुळे थोरिअम-कुटुंबाचा उल्लेख कधीकधी "4n कुटुंब" असाही केला जातो. युरेनिअमच्या दोन कुटुंबातील समस्थानियांच्या वस्तुमानांकांना चारने भागल्यानंतर जी बाकी उरते ती दोन किंवा तीन उरते. त्यानुसार, युरेनिअम-२३८ कुटुंबास $(4n+2)$ कुटुंब व युरेनिअम-२३५ कुटुंबास $(4n+3)$ कुटुंब असे म्हटले जाते.

पण मग $(4n+1)$ हे कुटुंब कोठे गेले? कदाचित नेमक्या याच अज्ञात किरणोत्सारी रूपांतरण मालिकेत एका-आयोडाईन व एका-सिशीअम यांचे समस्थानीय आढळणे शक्य आहे. कल्पना काहीतरी अवाजवी नव्हती. पण या सैद्धांतिक कुटुंबात बसणारा असा योग्य वस्तुमानांकाचा एकही किरणोत्सारी समस्थानीय ज्ञात नव्हता.

संशयखोर म्हणाले की पृथ्वीच्या अस्तित्वाच्या सुरुवातीच्या काळी किरणोत्सारी अशी चौथी मालिका असली पाहिजे. त्यांचे हे म्हणणे साधारच होते. पण मालिकेच्या मूळ निर्मात्यासह सारेच्या सारे समस्थानीय अल्पशा अर्धायूंचे होते व त्यामुळे पृथ्वीवरून ते केव्हाच नाहीसे झाले. हा चौथा किरणोत्सारी वृक्ष मानवजात अस्तित्वात येण्यापूर्वीच सुकून गेला!

दुसऱ्या दशकात सैद्धांतिक शास्त्रज्ञांनी हे कुटुंब जसे होते तसे पुनर्रचित करण्याचा प्रयत्न केला, जणू काही ते अस्तित्वात असल्याचेच समजून त्याची जडणघडण दृष्टीसमोर आणता येते का ते पाहिले.[5] या कल्पित संरचनेत मूलद्रव्य क्र. ८५ व ८७ च्या समस्थानियांना जागा मिळाली, पण रेडॉनच्या समस्थानियांना मात्र नव्हे. पण या दिशेने केलेले प्रयत्नही फलदायक ठरले नाहीत. तर मग ही फसवी मूलद्रव्ये अस्तित्वात तर नाहीत ना?

पण ध्येय काही एवढे दूर नव्हते. शास्त्रज्ञांचे स्वप्न खरे कसे झाले हे पाहण्यापूर्वी पहिल्या प्रथम संश्लेषित केल्या गेलेल्या मूलद्रव्याकडे, म्हणजे टेक्निशिअमकडे वळू या.

पण टेक्निशिअमकडेच का? कारण भडिमाराच्या लक्ष्याबाबतची आणि भडिमारार्थ वापरावयाच्या कणांची निवड उघडउघड होती. लक्ष्य होते मॉलिब्डेनमचे कारण त्यावेळी ते उत्तमपैकी शुद्ध प्रतीचे मिळविता येत होते. भडिमारार्थ वापरावयाचे कण म्हणजे न्यूटॉन व ड्यूट्रॉन आणि ड्यूट्रॉन

प्रवेगित करण्यासाठी प्रवेगक ऊर्फ ॲक्सिलरेटरही उपलब्ध होताच. म्हणून तर टेक्निशिअमचा शोध म्हणजे संश्लेषित मूलद्रव्यांच्या युगाची सुप्रभात असे सार्थपणे समजले जाते.

प्रोमेथिअमचा शोध त्यामानाने फारच गुंतागुंतीचा ठरला. एक तर ते मृदवर्गीय दुर्मिळ गटातील पडले, शिवाय त्याचे रासायनिक गुणधर्म ठरविता ठरविताच कितीतरी अडथळे आले.

पण मूलद्रव्ये ८५ व ८७ चे काम कितीतरी अधिक पटींनी कठीण होते. एका-आयोडाईन तयार करण्याच्या प्रयत्नात शास्त्रज्ञ केवळ एकच पदार्थ लक्ष्य म्हणून वापरू शकत होते व ते म्हणजे मूलद्रव्य ८१ ऊर्फ बिस्मथ हे होय. तसेच भडिमारार्थ आल्फा कणच उपलब्ध होते म्हणजे निवडीस वाव असा नव्हताच. एका-आयोडाईनच्या पूर्वी येणाऱ्या पोलोनिअमचा लक्ष्य म्हणून काही उपयोग करणे शक्य नव्हते. तसेच बिस्मथपेक्षा कमी क्रमांकाची मूलद्र-व्ये लक्ष्य म्हणून उपयोगी नव्हती, कारण ८५ क्रमांकाप्रत पोहोचू शकणारे असे भडिमारकरण्याजोगे योग्य कण शास्त्रज्ञांना उपलब्ध नव्हते.

थोडक्यात कृत्रिमरित्या संश्लेषण करण्याच्या दृष्टीने एका-सिशीअम असा-ध्य ठरले. लक्ष्य म्हणून योग्य पदार्थ आणि भडिमारासाठी योग्य कण तिस-ऱ्या दशकात उपलब्धच नव्हते. पण इतिहासाची चाल कशी फसवी असते पहा. या दुष्प्राप्य ठरलेल्या ८७ क्रमांकाच्या मूलद्रव्यानेच अखेर टेक्निशि-अमनंतर विश्वसनीयरित्या व दुसऱ्या क्रमांकाने शोधले जाण्याचा मान पटका-विला. आवर्ती पद्धतीच्या जुन्या चौकटीत असणारी व हरवलेली म्हणून समजली जाणारी जी चार मूलद्रव्ये होती त्यापैकीच हे ८७ क्रमांकाचे मूलद्रव्य होते.

इतका काळ एकमेकांशी समांतरपणे चाललेली एका-आयोडीन व एका-सिशीअम ही मूलद्रव्ये यानंतर मात्र अलग झाली आणि त्यांचे शोध-इतिहास वेगळया मार्गाने जाण्यास सुरुवात झाली. तेव्हा त्यांच्या शोधांच्या कथाही स्वतंत्रपणे सांगितल्या पाहिजेत.

मागे आपण पाहिलेच की बर्कली येथे काम करणाऱ्या डी. कॉर्सन, सी. मॅकेंझी व इ. सेग्रे या इटालिअन शास्त्रज्ञांनी मूलद्रव्य ८५ संश्लेषित केले. त्यापैकी या शीर्षकाचा प्रदीर्घ लेख, अत्यंत प्रतिष्ठित म्हणून गाजलेल्या 'फिजिकल रिव्ह्यू' नामक मासिकाकडे पाठविला. आपण सायक्लोट्रॉनच्या सहाय्याने आल्फा कण प्रवेगित करून त्यांचा मारा बिस्मथच्या लक्ष्यावर

कसा केला आणि $^{209}_{83}Bi\ (\alpha, 2n)$ या प्रक्रियेतून एक किरणोत्सारी पदार्थ कसा मिळविला हे या लेखात सविस्तरपणे सांगितले होते. हा पदार्थ बहुतेक एका-आयोडाईन समस्थानीय असला पाहिजे तसेच त्याचे अर्धायु ७.५ तासांचे व वस्तुमानांक २११ असणार असेही त्यांनी सांगितले. अत्यंत क्षुल्लक प्रमाणात तयार केलेल्या या मूलद्रव्याबाबत सेग्रे व त्याच्या सहध्यायांनी अतिशय कौशल्यपूर्ण प्रकारे रासायनिक प्रयोग केले व ठरविले की त्याचे आयोडाईनशी साधर्म्य असून त्याचे सौम्यसे धात्विक गुणधर्म पहावयास मिळतात.

हे निष्कर्ष एकंदरीत पटणारे होते. पण हे नवे मूलद्रव्य त्यावेळी नामरहित राहिले. त्यावरील, म्हणजेच एका-आयोडाईनवरील कामही थांबविणे भाग पडले, कारण महायुद्धास सुरुवात झाली. ते परत सुरू झाले १९४७ मध्ये आणि त्याच गटाने जाहीर केले की वस्तुमानांक २१० असणाऱ्या आणखी एका समस्थानियाचा संश्लेषणमार्ग शोध लावला आहे. त्याचे अर्धायु, काहीसे जास्त म्हणजे ८.३ तासांचे होते. पुढे मात्र तो मूलद्रव्य ८५ चा अधिकतम अर्धायु असणारा समस्थानीय ठरला. पहिला समस्थानीय ज्या तंत्राने मिळविला गेला त्याचाच वापर दुसऱ्याच्या बाबतीतही केला गेला, फरक एवढाच की भडिमारार्थ वापरल्या गेलेल्या आल्फा कणांची ऊर्जा थोडी अधिक प्रमाणात होती. पण त्यामुळेच मधल्या संमिश्र केंद्रकातून ($^{209}Bi + \alpha$) दोनाऐवजी तीन न्यूट्रॉन उत्सर्जित झाले. परिणामी या समस्थनियाचा वस्तुमानांक १ ने खाली घसरला. आता या नव्या मूलद्रव्यास ॲस्टाटाइन हे नाव देण्यात आहे आले (ग्रीक भाषेत "अस्थिर" अशा अर्थी.) (चिन्ह आहे At).

पण ^{211}At व ^{210}At या समस्थानियांच्या संश्लेषणवेळी एक मोठी उल्लेखनीय घटना घडली. व्हिएन्ना रेडिअम इन्स्टिटयूटच्या बी. कार्लिक व टी. बर्नर्ट या शास्त्रज्ञांना नैसर्गिक ॲस्टाटाइन सापडणे शक्य झाले. हे शोधकाम रेडिओमीतीवर आत्यंतिक ताण देणारे व कौशल्यपूर्ण कामाची परिसीमा गाठणारे असे होते. या कामाने यशाचा मुकूट धारण केला आणि मूलद्रव्य क्र. ८५ ने पुन्हा जन्म घेतला. टेक्निशिअम व प्रोमेथिअमप्रमाणेच ॲस्टाटाईनच्या इतिहासात आपण दोन तारखांचा उल्लेख करू शकतो, संश्लेषणाचे वर्ष (१९४०) व निसर्गात लागलेल्या शोधाचे वर्ष (१९४३).

तथापि, सेग्रे व त्याचे सहकारी बिस्मथ लक्ष्यावर आल्फा कणांचा भडिमार करण्याच्या तयारीत होते. त्याच्या पूर्वीच शास्त्रीय जगतात एका-

सिशीअम माहीत होऊन वर्षही उलटले होते. पॅरिस अॅकॅडेमी ऑफ सायन्सेस-च्या मुखपत्रात "मूलद्रव्य क्र. ८७. AcK ची अॅक्टिनिअमपासून निर्मिती" या नावाचा एक निबंध प्रसिद्ध झाला होता व तारीख होती – ९ जानेवारी १९३९, लेखकाचे नाव होते एम. पेरी. सुप्रसिद्ध रेडिओ-रसायनज्ञ डेबिअर्न यांचे ते सहाय्यक होते. सुमारे ४० वर्षांपूर्वीच डेबिअर्नंनी आपला अॅक्टिनि-अमचा शोध जाहीर केला होता.

मार्ग्वेराइट पेरी यांनी मूलभूत अशी कोणतीच पद्धत शोधली नव्हती किंवा संदिग्ध आणि गुंतागुंतीची अशी कोणतीच अनुमाने केली नव्हती. १९३८ मध्ये, अमेरिकन रसायनज्ञ मेअर, हेस व पॅनेथ यांनी लिहिलेला व १९१४ मध्येच प्रसिद्ध झालेला एक लेख तिच्या नजरेस पडला. लेखक-'त्रयी'च्या कल्पना सिद्ध करण्याचा पेरीबाईंनी प्रयत्न केला. त्यांनी काळजी-पूर्वक शुद्ध केलेल्या अॅक्टिनिअम-२२७ चा नमुना मिळविला. हा समस्थानीय उच्च बीटा-कणांबाबत उत्तम सक्रीय होताच पण कधीकधी त्यातून आल्फा कणांचेही उत्सर्जन होत असे. अशा कणांचा हवेतील सरासरी मार्ग ३.५ सें. मी. होता. हे आल्फा-उत्सर्जन प्रोटॅक्टिनिअममुळे तर मुळीच नव्हते कारण अॅक्टिनिअमचा नमुना पाहिजे तेवढया शुद्ध प्रतीचा होता. ज्या अर्थी आल्फा कणांचे उत्सर्जन होत होते त्याअर्थी एका-सिशीअमचा वस्तुमानांक २२३ असणारा समस्थानीय नमुन्यात सातत्यपूर्वक साचत असला पाहिजे. अनेक प्रयोगानंतर निश्चितपणे सिद्धही झाले की २१ मिनिटांचे अर्धायु असणारा कोणतातरी पदार्थ त्या अॅक्टिनिअमच्या नमुन्यात साचला आहे. आता रासायनिक विश्लेषणाचे काम उरले होते – हा पदार्थ एक नवे मूलद्रव्य आहे हे सिद्ध करण्याचे. त्याचे गुणधर्म सिशीअमशी मिळतेजुळते ठरले. पेरी-बाईनी त्याचे नाव तिच्या देशाच्या सन्मानार्थ फ्रान्सिअम असे ठेवले. रेडिओ-मूलद्रव्यांच्या जुन्या नामपद्धतीनुसार त्यास अॅक्टिनिअम-के (AcK) असे म्हटले गेले खरे पण अगदी थोडक्या काळापुरतेच.

पेरीबाईंनी या नवजात मूलद्रव्याची माहिती फारच थोडक्यात दिली: अॅक्टिनिअम-२२७ चा आल्फा-ऱ्हास होऊन सदरहू मूलद्रव्य तयार झाले. ती प्रक्रिया अशी :

$$^{227}_{89}\text{Ac} \xrightarrow{\alpha} {}^{223}85$$

हे मूलद्रव्य आल्फा-कणाबाबत सक्रीय असून त्याचे अर्धायु २१ मिनिटे आहे. त्यानंतर तिने या मूलद्रव्याचे रासायनिक गुणधर्म ठरविण्यात अनेक महिने खर्ची घातले व पटवून दिले की आपल्या सर्व वैशिष्टचांबाबत फ्रान्सिअम सिशीअमशी साधर्मी आहे.

कोणत्याच नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्याचे एवढे अल्प अर्धायु आढळत नाही, एवढेच नव्हे तर कृत्रिमरित्या संश्लेषित केल्या जाणाऱ्या मूलद्रव्य क्रमांक ८५ चे अर्धायु तर तासांमध्ये मोजले जाते. फ्रान्सिअमचे अधिक काळ दीर्घायु असणारे इतर समस्थानीय आज ना उद्या आढळतील अशी आशा वाटत होती. पण या पृथ्वीवर फ्रान्सिअमचा फ्रान्सिअम-२२३ हाच काय तो समस्थानीय उपलब्ध आहे असेच शेवटी निष्पन्न झाले.

एकच मार्ग मोकळा होता, तो म्हणजे संश्लेषणाचा. पण तो अतिशय कठीण ठरला. पेरीबाईंच्या शोधानंतर १० वर्षे गेल्यानंतरच फ्रान्सिअम समस्थानियांचे कृत्रिमरित्या संश्लेषण करणे शक्य झाले. ज्या केन्द्रकीय प्रक्रियेतून फ्रान्सिअम समस्थानीय तयार होतो (वस्तुमानांक ११२) ती प्रक्रिया थोडक्यात अशी दाखविता येईल :

$$^{232}_{92}U(p,\ 6p21n)\,^{212}_{87}Fr$$

अतिउच्च ऊर्जेप्रत प्रवेगीत केलेल्या युरेनिअम केंद्रकातील प्रोटॉनमुळे ही प्रक्रिया आकार घेते. जेव्हा वेगवान प्रोटॉन युरेनिअम केंद्रकावर धडक घेतात तेव्हा निर्माण होणाऱ्या जणू स्फोटामधून अनेक कणांचे उत्सर्जन होते व ते मुख्यतः ६ प्रोटॉन व २१ न्यूट्रॉन यांचे असते. ही काही आंधळेपणे केली गेलेली प्रक्रिया नसते तर काळजीपूर्वक केल्या गेलेल्या सैद्धांतिक विचारांवर आधारलेली असते. युरेनिअमऐवजी थोरिअमही वापरता येते. वरील प्रक्रियेतून मिळणारा फ्रान्सिअम हा पदार्थ म्हणजे अत्यधिक काळ टिकणारे समस्थानीय (२३ मिनिटांचे अर्धायु असलेला) म्हणून काही काळ समजले गेले पण पुढे त्याचे अर्धायु फक्त १९ मिनिटांचे आहे असे ध्यानात आले.

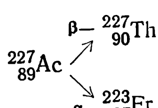
नैसर्गिक ॲक्टिनिअमच्या ऱ्हासातून फ्रान्सिअमचे दुय्यम उत्पादन अलग करण्यापेक्षा त्याचे कृत्रिम संश्लेषणद्वारे उत्पादन करणे हे अधिक कठीण व कमी विश्वसनीय आहे. पण नैसर्गिक ॲक्टिनिअम दुर्मिळ असते. यावर उपाय काय? प्रचलित पद्धत अशी की रेडिअमच्या, २२६ वस्तुमानांक असणाऱ्या मुख्य समस्थानियावर (अर्धायु, १६२२ वर्षे) वेगवान न्यूट्रॉनांचा

मारा करणे (किरणीयनाची क्रिया करणे). रेडिअम-२२६ न्यूट्रॉन शोषून घेते व रेडिअम-२२७ मध्ये रूपांतर पावते. त्याचे अर्धायु सुमारे ४० मिनिटांचे असते. त्याच्या ऱ्हासातून शुद्ध अ‍ॅक्टिनिअम-२२७ तयार होते आणि अ‍ॅक्टि-निअम-२२७ च्या ऱ्हासातून मग फ्रान्सिअम-२२३ मिळते.

At आणि Fr या चिन्हांना आवर्ती कोष्टकातील ८५ व ८७ क्रमांका-च्या जागा कायमच्या बहाल केल्या गेल्या आणि त्यांचे गुणधर्म, कोष्टकावरून जसे वर्तविले गेले तसेच आढळले. पण केंद्रकीय भौतिकशास्त्रानुसार जन्मले-ल्या, त्यांचे मित्र, टेक्निशिअम व प्रोमेथिअम यांच्या जागा मात्र सर्वस्वी अयोग्य ठरल्या.

अंदाजांनुसार असे दिसते की २० कि. मी. जाडीच्या भूकवचात साधार-णपणे ५२० ग्रॅम फ्रॅन्सिअम आहे आणि ३० ग्रॅम अ‍ॅस्टाटाइन आहे (काही बाबतीत हा अंदाज प्रमाणापेक्षा अधिकच ठरतो). आपला मोठेपणा बाजूला ठेवून आपण अ‍ॅस्टाटाइन व फ्रान्सिअमबद्दल बोलतो तेव्हा चूक तर करत नाही ना? तसे मुळीच नाही. टेक्निशिअम व प्रोमेथिअम कित्येक किलोग्रॅमनी उत्पादित होते. वस्तुस्थिती अशी की टेक्निशिअम व प्रोमेथिअम यांची अर्धायु दीर्घकालीन आहेत, त्यामुळे ती मोठ्या प्रमाणात साचू शकतात. याउलट, अ‍ॅस्टाटाइन व फ्रान्सिअम याचा साठा तयार होणे केवळ अशक्य आहे. जेव्हा जेव्हा त्यांचे गुणधर्म तपासण्याचे काम निघते तेव्हा तेव्हा ती नव्याने तयार करावी लागतात.

किरणोत्सारी कुटुंबांमध्ये अ‍ॅस्टाटाइन व फ्रान्सिअमच्या समस्थानियांच्या जागा किरणोत्सारी रूपांतरणाच्या मुख्य मार्गावर नसतात तर बाजूला जाणा-ऱ्या शाखांवर असतात. ही पहा एक शाखा, ज्यावर नैसर्गिक फ्रान्सिअम जन्मले आहे:



$^{227}_{89}Ac$ हा समस्थानीय १०० पैकी ९९ वेळा बीटा कण उत्सर्जित करतो आणि एकाच बाबतीत आल्फाऱ्हास पावतो.

ज्या शाखा ॲस्टाटाईन तयार होण्यासाठी जबाबदार असतात त्यांच्या बाबतीत परिस्थिती तर अधिकच अवघड असते :

$$^{218}_{84}Po \begin{array}{l} \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \\ \xrightarrow{\beta} {}^{218}_{85}At \end{array} \qquad ^{216}_{84}Po \begin{array}{l} \xrightarrow{\alpha} {}^{212}_{84}Pb \\ \xrightarrow{\beta} {}^{216}_{85}At \end{array} \qquad ^{215}_{84}Po \begin{array}{l} \xrightarrow{\alpha} {}^{211}_{82}Pb \\ \xrightarrow{\beta} {}^{215}_{85}At \end{array}$$

या शाखांबद्दल काय म्हणता येईल? नैसर्गिक ॲस्टाटाइनला जन्म देणारे पोलोनिअम समस्थानीय हे स्वतःच अत्यंत दुर्मिळ आहेत. त्यांच्यासाठी आल्फा-ऱ्हास केवळ वरचढ नाही तर तीच खरोखरी एकुलती एक अशी किरणोत्सारी यंत्रणा आहे. बीटा-ऱ्हास होतो, पण त्यांच्यापुरते जणू दुर्दैवी अरिष्ट म्हणावे लागते व पुढील माहितीवरून ते सुस्पष्ट दिसेल.

पोलोनिअम-२२७ च्या दर ५००० आल्फा-ऱ्हासागणिक १ बीटा-ऱ्हास असतो. पोलोनिअम-२१६ च्या बाबतीत तर परिस्थिती अधिकच शोचनीय आहे (दर ७००० स १) आणि पोलोनिअम-२१५ च्या बाबतीत दर २००००० स १ एवढी शोचनीय आहे. ही परिस्थिती अगदी बोलकी आहे. पृथ्वीवर नैसर्गिक फ्रान्सिअम अधिक प्रमाणात आहे. ते अत्याधिक काळ जगणाऱ्या ^{227}Ac या (ॲक्टिनिअमच्या) समस्थानियामुळे (अर्धायु, २१ वर्षे) निर्माण होते आणि त्याचा साठा, ॲस्टाटाईन निर्माण करणाऱ्या पण अति दुर्मिळ अशा पोलोनिअमपेक्षा कितीतरी जास्त भरतो.

प्रकरण १३ वे

युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये

ज्या मूलद्रव्यांचे क्रमांक ९२ पेक्षा अधिक आहेत ती सारी "युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये" म्हणून ओळखली जातात. ती सारी युरेनिअमच्या पाठोपाठ येणारी आहेत. अशी १५ मूलद्रव्ये आज पावेतो माहीत झाली आहेत. आणखी किती युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये सापडणे शक्य आहे? या प्रश्नाचे उत्तर अद्यापीही माहीत नाही. शास्त्रातील ही अशी मोठी मनोवेधक समस्या आहे.

पहिले युरेनिअमोत्तर नेप्च्यूनिअम (क्रमांक ९३) नामक मूलद्रव्य जरी अलिकडेच म्हणजे १९४० मध्ये सापडले असले तरी अशी मूलद्रव्ये किती संख्येत असावीत हा प्रश्न मात्र फार पूर्वीपासून उभा आहे. मेंदेलेयेवनेसुद्धा या प्रश्नाकडे दुर्लक्ष केले नाही. त्याचे असे मत होते की युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये जरी पृथ्वीवर आढळली तरी त्यांची संख्या मर्यादितच असणार हे निर्विवाद. हे त्याचे १८७० मधले मत होय. आणखी २५ वर्षांपावेतो हा प्रश्न तसाच अनुत्तरीत राहिला. गंमत अशी की दर वर्षी नवे मूलद्रव्य सापडल्याचे चुकीचे वृत्त प्रसृत होत होते. पण एकाचेही अणुवस्तुमानांक युरेनिअमपेक्षा काही जादा आढळले नाही. आवर्ती पद्धतीतील युरेनिअम हे शेवटचे मूलद्रव्य आहे असे एक जणू स्वयंसिद्ध तत्त्वच प्रस्थापित झाले. पण तसे का, याबाबत मात्र कोणीच काही सांगू शकत नव्हते.

पण जेव्हा किरणोत्सरण गुणधर्माचा शोध लागला तेव्हा थोरिअम व युरेनिअम या मेंदेलेयेवच्या कोष्टकातील मूलद्रव्यांच्या अंगी हे वैशिष्टच आढळून आले. तार्किकदृष्टचा योग्य असेच दिसले की निसर्गात युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये पूर्वी जरूर अस्तित्वात होती पण ती अतिअस्थिर प्रवृत्तीची असल्यामुळे ऱ्हास पावली व त्यातून ज्ञात अशी इतर मूलद्रव्ये तयार झाली. पण या साध्यासोप्या स्पष्टीकरणात एक छुपा फसवा प्रकार आहे. तो म्हणजे युरेनिअमच्या उजव्या बाजूकडील अगदी जवळच्या शेजाऱ्यांचे अर्धायु किती असावे याची कोणालाच कल्पना नव्हती. छातीठोकपणे सांगणे कोणालाच

शक्य नव्हते की ही गृहित मूलद्रव्ये युरेनिअम व थोरिअम यांच्यापेक्षा कमी स्थैर्याची आहेत. यामुळेच नैसर्गिकरित्या ही युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये आढळतात किंवा काय असा शोध घेणे संयुक्तिकच ठरते.

वर्षांमागून वर्षे लोटली. मधूनच एखाद्या मुखपत्रात कोणत्यातरी मूलद्रव्याचा (अर्थात युरेनिअमोत्तर) फसवा, निराधार शोध झळके, पण तो विरूनही जाई. जसजसे सैद्धांतिक भौतिकशास्त्र प्रगत पावत होते तसतसा आवर्ती कोष्टक युरेनिअमपाशी खंडित का व्हावे हा प्रश्न उफाळून येई. विविध स्पष्टीकरणे दिली जात होती व काही फारच आकर्षक वाटत, पण एकही समाधानकारक मात्र ठरत नव्हते. थोडक्यात असे म्हणता येते की गतशतकाच्या अखेरच्या पंचवीस-तीस वर्षांच्या काळात युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचा प्रश्न जेवढा अंधूक वाटत होता तेवढाच तो या शतकाच्या पहिल्या दोन दशकातही होता.

पण या संदिग्ध अवस्थेच्या पार्श्वभूमीवर एक मोठे विस्मयकारक गृहितक लोकांपुढे मांडले गेले. सुरुवातीला शास्त्रज्ञांनी मोठ्या संशयखोरपणे त्याकडे पाहिले आणि अशा अवस्थेत ४० वर्षे गेल्यानंतर कुठे त्यांना अर्थ वाटू लागला. आर स्विन् या जर्मन शास्त्रज्ञाने प्रथमतः हे गृहितक १९२५ मध्ये पुढे ठेवले. स्विन्ने एका मोठ्या विशेष प्रकारच्या पदार्थात या युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या शोधाचा प्रयत्न केला. तो पदार्थ म्हणजे ग्रीनफील्डच्या बर्फप्रदेशावर अवकाशातून पडून जमा झालेली धूळ हा होय. अतिशय सुप्रसिद्ध झालेल्या ध्रुवप्रदेशाचा संशोधक इ. नॉर्डेन्सजोल्डने त्या कृष्णवर्णी धुळीचा नमुना स्टॉकहोम वस्तुसंग्रहालयास भेटीप्रीत्यर्थ दिला. स्विन्ने अशी आशा बाळगली की त्या धुळीमध्ये १०६ ते ११० क्रमांकाची युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये अंशमात्र प्रमाणात सापडावीत. आपल्या एका अहवालात त्याने सांगितले सुद्धा की एकाचा क्ष-किरण वर्णपट आपण नोंदला असून त्यातील रेषावरून असे वाटते की मूलद्रव्य क्र. १०८ च्याच त्या रेषा निदर्शक असल्या पाहिजेत. पण त्याच्या सांगण्यावर कुणीच विश्वास ठेवला नाही आणि खुद्द स्विन्नेही आपले काम अर्धवट सोडले.

निरनिराळ्या रेडिओमूलद्रव्यांच्या विविध गुणधर्मांत जे बदल आढळतात त्यांच्या, विशेषतः त्यांच्या अर्धायूंच्या तौलनिक अभ्यासात स्विन्ने लक्ष घातले होते. या सैद्धांतिक अभ्यासातून त्याने असा निष्कर्ष काढला की जी मूलद्रव्ये युरेनिअमच्या अगदी पाठोपाठ येणारी आहेत त्यांचे अर्धायु अल्प-

कालीनच असावयास हवे. पण ९८ ते १०२ या मर्यादेतील व १०८ ते ११० या मर्यादेतील क्रमांक असणाऱ्या मूलद्रव्यांचे अर्धायु मात्र पुरेसे दीर्घकालीन असले पाहिजे. त्यांचा शोध कुठे व कसा करावयाचा? स्विन्नेे सुचविले की सर्वात उत्तम मार्ग भूतलावरील खनिजांचा नसून बाह्य अवकाशातील वस्तुंचा आहे. म्हणून तर त्याने ग्रीनलँडमध्ये सापडलेली धूळ अभ्यासिली. ही सारी विचारमालिका मोठी चित्ताकर्षक खरी पण कशाचाच तीस आधार नसल्यामुळे अखेर विस्मृतीच्या पडद्याआड नाहीशी झाली.

आपण आता अशा वेळेप्रत आलो आहोत की जेव्हा युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये या शब्दांची गुंफण संश्लेषण या शब्दाशी होण्यास सुरुवात झाली आहे.

काहीसे विरोधाभासात्मक चित्र असे दिसेल की टेक्निशिअम निर्माण केले, त्यापूर्वी काही वर्षे नवी मूलद्रव्ये (म्हणजेच युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये) संश्लेषित करण्याचे प्रयत्न सुरू झाले होते. या कामाला चालना मिळाली ती न्यूट्रॉनच्या शोधामुळे. शास्त्रज्ञांचा असा विश्वास होता की या भाररहित मूलभूत कणांच्या अंगी अमर्याद वेधन-क्षमता (घुसण्याची शक्ती) असून विविध रूपांतरणातून सर्व प्रकारची मूलद्रव्ये निर्माण करण्याची क्षमता आहे. साहजिकच ज्या ज्या प्रयोगशाळांजवळ न्यूट्रॉनची उद्‌गमस्थाने होती त्या सर्वांनी युरेनिअमसह विविध साहित्याच्या लक्ष्यांवर न्यूट्रॉनांचा भडिमार करण्याचे काम सुरू केले. या कामात अत्यंत उत्साही जर कोणी असेल तर रोम विद्यापीठातील इटालियन भौतिकशास्त्रज्ञ इ. फर्मी व त्यांचे सहकारी.

किरणीयन केलेल्या युरेनिअमच्या बाबतीत त्यांना एक नवीन प्रकारची कार्यशीलता आढळली. जेव्हा त्यांनी युरेनिअम-२३८ वर न्यूट्रॉनांचा मारा केला तेव्हा काही न्यूट्रॉन लक्ष्यामार्फत शोषले जाऊन त्यांचे रूपांतर एका अज्ञात प्रकारच्या युरेनिअम-समस्थानियात झालेले आढळले व त्याचा वस्तुमानांक १३९ आहे असे निष्पन्न झाले. हा समस्थानीय जादा न्यूट्रॉनयुक्त असल्यामुळे त्याची बीटा-ऱ्हासाची प्रवृत्ती अगदी निश्चितपणे उघड झाली. प्रक्रियेच्या समीकरणाची डावी बाजू $^{239}U - \beta^-$ अशी असेल तर उजवी बाजू $^{239}93$ अशीच असावयास हवी.

फर्मी व त्याच्या तरुण सहकाऱ्यांनी साधारणत: वरीलप्रमाणे आपले म्हणणे मांडले (हे खरे की त्यांचे म्हणणे अगदी काटेकोर नव्हते पण त्यावेळी केंद्रकीय भौतिकशास्त्रातील अनेक विचार पूर्ण विकसित झालेले नव्हतेच.

आता जरूरी होती ती या पहिल्या युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्याचे रासायनिक गुणधर्म पडताळून पाहण्याची. न्यूट्रॉनमुळे युरेनिअममध्ये अस्तित्वात आलेली कार्यशीलता पूर्वीच्या इतर कोणत्याही मूलद्रव्यामुळे नाही हे सिद्ध करावयासच हवे होते. तसे सिद्ध केले गेले ते रेडिओ-रसायनशास्त्राच्या चौकटीत. अशा प्रकारे केंद्रकीय संश्लेषणद्वारा प्रथमतःच तयार केले गेलेले एक युरेनिअमोत्तर नवे मूलद्रव्य फर्मी व त्यांच्या सहकाऱ्यांच्या हातात आले (हे सारे घडले ते १९३४ सालात). पण आपल्या निष्कर्षांबद्दल फर्मी व त्यांचा गट पूर्णतया निश्चित नव्हता. तेवढ्यात ही बातमी वृत्तपत्रात प्रसृतही झाली आणि फर्मींनी या ९३ क्रमांकाच्या क्षारपदार्थाच्या द्रावाने भरलेली एक परीक्षानलिका इटलीच्या राणीस नजर केली, असे रंगरूपही या वृत्तांतास चढविले गेले. एकीकडे फर्मी व त्यांचा गट युरेनिअमवर न्यूट्रॉनांचा भडिमार करण्यात व त्यातून मिळणारे निष्कर्ष पडताळून पाहण्यात गर्क होते तर त्याच वेळी तिकडे वृत्तपत्रांमधून अतिरंजित वृत्ते प्रसारित होत होती.

वापरल्या जाणाऱ्या युरेनिअम-लक्ष्यापासून या गटाने अनेक बीटाकण कार्यरत असणारे पदार्थ अलग केले. त्यापैकी दोन पदार्थ रासायनिकदृष्ट्या विशेष कार्यक्षम आढळले कारण ते मँगॅनीज (IV) ऑक्साइडच्या सहाय्याने युरेनिअमपूर्व मूलद्रव्यांच्या मानाने सहजपणे साख्याच्या रूपात अलग करता येत होते. या निरिक्षणातून असे सूचित झाले की मूलद्रव्य क्र. ९३ मँगॅनीजशी साधर्म्य असणारे असे एका-ऱ्हेनिअम आहे. त्यास ऑझोनिअम (Ao) असे नाव दिले गेले. ते बीटाकण कार्यशीलतेचे असल्यामुळे नंतरच्या, अणुभार ९४ ($Z = 94$) असणाऱ्या हेस्पेरिअम (Hs) नामक मूलद्रव्यात रूपांतरीत होणे शक्य असते. केंद्रकीय रूपांतरणाची ही मालिका फर्मीने पुढीलप्रमाणे स्पष्ट केली :

$$^{298}_{92}U + n \longrightarrow {}^{239}_{92}U \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{93}Ao \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{84}Hs$$

ही मालिका पुढे जर्मन शास्त्रज्ञ ओ. हान, एल. मेट्नर, आणि एफ. स्ट्रासमान या अत्यंत अनुभवी रेडिओ-रसायनशास्त्रज्ञांनी विस्तारित केली. या कामी अनेक रेडिओमूलद्रव्ये शोधून आपले नाव सर्वत्र विख्यात करणाऱ्या ओ. हान यांनी विशेष परिश्रम घेतले. या काळजीपूर्वक अभ्यासाचा

असा परिणाम झाला की युरेनिअमोत्तर नव्या मूलद्रव्यांची संख्या मूलद्रव्य ९७ सह तिनाने वाढली :

$$_{94}Hs \xrightarrow{\beta^-} {}_{95}EkaIr \xrightarrow{\beta^-} {}_{96}EkaPt \xrightarrow{\beta^-} {}_{97}EkaAu...$$

वरील मालिकेतील EKa हा उपसर्ग असे दर्शवितो की संबंधित युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये ही इरिडिअम, प्लॅटिनम व सोने या आवर्ती पद्धतीतील सहाव्या गटाच्या सभासदांशी समानधर्मी आहेत. पण नेमकी याच ठिकाणी एक गंभीर चूक केली गेली व ती लक्षात येण्यास बराच कालावधी लागला. खरे पाहिल्यास, अगदी नजीकच्या युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचे गुणधर्म अगदीच भिन्न आहेत.

शास्त्राच्या इतिहासात आपणास असे कितीतरी प्रसंग आढळतील की जे प्रथमदर्शनी निराधार वा निरर्थक भासतील. अशा प्रसंगांचे एक उदाहरण आहे आय. नोडॅकनी १९३४ मध्ये प्रसृत केलेल्या कल्पनेचे – जेव्हा न्यूट्रॉनांचा युरेनिअमवर भडिमार केला जातो तेव्हा युरेनिअमच्या केंद्रकांचे नव्या मूलद्रव्यात मुळीच रूपांतर न होता उलट खंडरूपात रूपांतर होते व हे खंड म्हणजे ज्ञात, हलक्या मूलद्रव्यांचे केंद्रक ठरले. तिच्या सहकाऱ्यांनी नोडॅकप्रणीत कल्पना तुच्छ लेखली. हानचा शेरा तर फारच व्याजोक्तीपूर्ण होता. पण त्याने जणू भवितव्याचीच थट्टा आरंभली होती असेच अखेर ठरले.

तशातच इतर शास्त्रज्ञ अशा भडिमारामुळे युरेनिअमबाबत काय होत असावे हे निश्चित करण्याच्या प्रयत्नात होते. आय. जोलिएट-क्यूरी आणि तिचा सेर्बिअम सहकारी भौतिकज्ञ पी. सॅव्हिच यांनी भडिमारित युरेनिअमचे लक्ष्य विशेष काळजीपूर्वक तपासून पाहिले. तशा नमुन्यात त्यांना एका रासायनिक मूलद्रव्याचा अंशमात्र नमुना मिळाला व त्यात आढळलेले गुणधर्म ॲक्टिनिअमशी म्हणजेच युरेनिअमपूर्व येणाऱ्या मूलद्रव्याशी अगदी मिळते जुळते आढळले. नंतर लौकरच असेही दिसून आले की ॲक्टिनिअमपेक्षाही लँथॅनिअमशीच ते अधिक मिळतेजुळते आहेत. अशा प्रकारे मंदगतीच्या न्यूट्रॉनांच्या सहाय्याने मारा केल्या गेलेल्या युरेनिअमपासून मिळालेला पदार्थ लँथॅनमशी साधर्मी ठरला.

पण जर जोलिएट क्यूरी व सॅव्हॅकनी सदरहू अज्ञात मूलद्रव्य लँथॅनमसारखे असे मोघमपणे अथवा सावधगिरीने सांगण्याऐवजी ते लँथॅनमच आहे असे सिद्ध करून दाखविले असते तर विसाव्या शतकातील एका श्रेष्ठ

शोधाचे ते मानकरी ठरले असते. (या ठिकाणी आठवण करणे योग्य ठरते की लँथॅनमचा ५७ क्रमांक असून युरेनिअमचा ९२ आहे, तसेच आय. नोडॅकप्रणीत कल्पनेची आठवण करणेही उचित ठरेल.) हे बरेचसे अशक्य दिसते खरे, पण सत्य गोष्टी सत्यच असतात. इ. क्यूरी व पी. सॅव्हिच यांचे प्रतिपादन इतके विश्वसनीय वाटत होते की खुद्द हानने त्याचा पडताळा करून पाहण्याचे काम आपल्या हाती घेतले. याचा अर्थ असाच होतो की स्वतःच्या मतांबद्दल त्याचे मन शंकित झाले होते.

आपल्या स्ट्रासमान या सहकाऱ्याबरोबर हानने त्या फ्रेंच शास्त्रज्ञांचे प्रयोग पुन्हा करून पाहिले. जवळ जवळ सर्वच निष्कर्ष जुळते ठरले. युरेनि-. अमच्या लक्ष्यात जसे लँथॅनमचे समस्थानीय आढळले तसेच ते आवर्ती पद्धती-तील त्याच्या आधीच्या मूलद्रव्यात म्हणजे बेरिअममध्येही सापडले. एक रसा-यनज्ञ या नात्याने हानला त्याबाबत मुळीच शंका नव्हती. पण एक भौतिक-शास्त्रज्ञ म्हणून मात्र तो गोंधळात पडला.

वस्तुस्थिती अशी होती की न्यूट्रॉनांच्या भडिमाराखाली युरेनिअमच्या केंद्रकांचे दोन खंडात विभाजन झाल्याचे वाटले व हे खंड म्हणजे आवर्ती पद्धतीच्या मध्यभागी असणाऱ्या मूलद्रव्यांच्या समस्थानियांचे केंद्रक होते. केंद्रकीय भौतिकशास्त्राने असा अविष्कार कधीच अनुभवला नव्हता. पण काही असले तरी वस्तुस्थितीस तोंड देणे जरूरी होते आणि त्या जर्मन शास्त्रज्ञाने अखेर अनुमान काढले की न्यूट्रॉनच्या भडिमाराखाली युरेनिअमचे केंद्रक विभाजन पावण्याची शक्यता आहे.

हे घडले २३ डिसेंबर १९३८ रोजी. त्या शास्त्रज्ञांनी आपल्या शोधाचे वृत्त लगेच प्रसृत केले. नंतर मात्र हानला जाणवले की हे सारे अतिशय असंभाव्य आहे व पोस्टात टाकलेले पत्र पेटीतून परत मिळवावे.

पण जे असंभाव्य तेच खरे ठरले. काही दिवसांनी हानबरोबर अनेक वर्षे काम करणाऱ्या एल. मेटनरना हानचे पत्र मिळाले. तिने आपल्या पुतण्यासह म्हणजे ओ. फिस्कसह या आविष्काराबाबत सैद्धांतिक विश्लेषण करण्याचा प्रयत्न केला.

काही मर्यादेपर्यंत द्रवाच्या थेंबासारखी केंद्रकाची प्रवृत्ती असते, आणि शास्त्रज्ञांनी केंद्रकाचे गुणधर्म व द्रवपदार्थाच्या थेंबाचे गुणधर्म यांच्यामधील सदृशता शोधण्याचा प्रयत्न चालविला होता. द्रवाच्या थेंबाला जर पुरेशी ऊर्जा पुरवून त्यामध्ये हालचाल घडवून आणली तर त्याचे छोटया छोटया

थेंबांमध्ये विभाजन होते. जर केंद्रक ऊर्जेद्वारे उत्तेजित केला (उदाहरणार्थ न्यूट्रॉनच्या सहाय्याने) तर तो सुद्धा छोटया खंडामध्ये विभागला जातो. क्रमाक्रमाने युरेनिअमचा केंद्रक विरूप आकाराचा बनतो, तो लांबतो, तो आक्रसून त्यात निमूळतेपणा येतो आणि अखेर तो दोन भागात फुटतो. मेटनर आणि फ्रिस्कनी युरेनिअम केंद्रकाचे फुटणे हे अशाप्रकारे विशद केले. ते लिहितात की प्रक्रिया मोठ्या विलक्षण रीतीने, बॅक्टेरियांप्रमाणेच विभाजन पावून प्रसारित होणारी असते. या क्रियेस त्यांनी "केंद्रकीय विखंडन" असे नावही सुचविले.

या प्रक्रियेत युरेनिअमचा केंद्रक दोन खंडात विभागला जात असून त्याच वेळी मोठ्या प्रमाणात ऊर्जानिर्मिती होते. या विखंडनाचे इतर उत्पादित पदार्थ म्हणजे मुक्त न्यूट्रॉन हे होत. ते मग युरेनिअमच्या इतर केंद्रकांवर आदळतात व त्यांचेही विखंडन होते आणि अशाप्रकारे आदळणे-विखंडन होणे हे चालू राहते. जर परिस्थिती अनुकूल असेल तर अशा प्रक्रियेची मालिकाच सुरू होते, ती युरेनिअमच्या गठ्ठ्यात सुरू होते आणि त्यातून केंद्रकीय स्फोट होऊन प्रचंड ऊर्जा निर्माण होते. अगदी मागेच, म्हणजे १९४० मध्ये सोवि-एत शास्त्रज्ञ या. झेल्डोविच आणि यु. खारितोन यांनी साखळीसदृश विखंडन प्रक्रियेची मोठी सूक्ष्म आणि अत्यंत काटेकोर विचारप्रणाली विकसित केली. निसर्गात वरवर पाहता जी प्रक्रिया अज्ञात असणारी भासते ती मान-वाने आत्मसात केली म्हणावयाची! अत्यंत व्यापक स्वरूपाची ही प्रक्रिया असून तीमार्गे मूलद्रव्यांचे रूपांतरण साधण्याचा हेतू माणसाने यापूर्वी कधीच अवलोकिला नव्हता. युरेनिअमच्या अशा प्रकारे होणाऱ्या विदलनातून जस्ता-पासून (क्र. ३०) गॅडोलिनिअमपर्यंत (क्र. ६४) ३४ मूलद्रव्यांचे समस्था-नीय उपलब्ध होतात. एकूण विदलन ऊर्फ विखंडनक्रिया म्हणजे किरणोत्सारी समस्थानीय तयार करण्याचा कारखानाच म्हटला पाहिजे.

न्यूट्रॉनांमुळे युरेनिअमचे अशा प्रकारे होणारे विखंडन हे बळजबरीचे अथवा कृत्रिमपणे साधलेले होते. युरेनिअमचा एकूण एक केंद्रक काही विभा-गला जात नाही आणि प्रत्येक केंद्रक काही विखंडित होत नाही. शास्त्रज्ञांनी या विखंडन यंत्रणेचा जसजसा अभ्यास केला तसतसे त्यांच्या ध्यानात आले की मंदगतीच्या न्यूट्रॉनांच्या प्रभावाखाली तसेच १३५ वस्तुमानांक असणाऱ्या समस्थानीयांचा वापर केला तर विखंडनाची तीव्रता अधिक असते. युरेनि-अमचा युरेनिअम-२३८ हा समस्थानीय विखंडित पावतो खरा पण केवळ

वेगवान न्यूट्रॉनांचा भडिमार केला तरच. युरेनिअम-विखंडनाच्या अशा कृत्रिम प्रक्रिये-क्रियेसदृश नैसर्गिक प्रक्रिया असणे शक्य आहे का? एन. बोर यांनी अशा प्रकारे अचानकरित्या घडून येणाऱ्या युरेनिअम-विखंडनाचा (केंद्रकांना बाह्य मार्गे ऊर्जा पुरवठा न करता) एक वैचारिक सिद्धांत मांडला.

सोविएत शास्त्रज्ञ जी. फ्लेरोव आणि के. पीटरझॅक यांनी बोरचा वरील विचार प्रायोगिकमार्गे पडताळून पाहण्याचा प्रयत्न केला. पण युरेनि-अमच्या केंद्रकांचे विखंडन खरोखरीच अचानकरित्या घडले आहे हे कसे ठरवावयाचे? वैश्विक किरणांद्वारे अनियमितपणे प्रयोगशाळेत शिरणारे न्यूट्रॉन प्रायोगिक निष्कर्ष विपर्यस्त कशावरून करणार नाहीत? यासाठीच तर १९४० च्या हिवाळयातील एका मध्यरात्री फ्लॅरोव आणि पीटरझॅक मॉस्कोतील त्यातल्या त्यात अधिकतम खोलीवर असणाऱ्या भुयारी रेल्वे-स्थानकावर गेले. तेथे पृष्ठभागापासून कित्येक मीटर खोलीपाशी वैश्विक किरणांचा धोका टळणे अगदी शक्य होते. त्याच रात्री त्यांना एका नव्या प्रकारच्या किरणोत्सारी रूपांतरणाचा म्हणजेच केंद्रकांच्या अचानकरित्या घडून येणाऱ्या विखंडनाचा अंतिम पुरावा मिळाला (त्यांनी यावेळी फक्त युरेनिअम-२३८ चाच वापर केला होता) त्यानंतर वजनदार मूलद्रव्यांच्या इतर अनेक समस्थानीयांच्या बाबतीतही (उदा. थोरिअम व विशेषत: युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या बाबतीत). किरणोत्सारी ऱ्हासाची यंत्रणा दिसते असे निष्पन्न झाले. आज शास्त्रास वेगवेगळया मूलद्रव्यांचे निदान शंभर तरी केंद्रक माहीत आहेत, ज्यांच्या अंगी अचानक विखंडन पावण्याची पात्रता आहे. ही अचानक विखंडन पावण्याची प्रक्रिया, केंद्रकांच्या भडिमाराखाली विदलन पावणाऱ्या क्रियेप्रमाणेच असते.

आता आपणास युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या वैयक्तिक कथेकडे वळण्यास हरकत नाही, कारण या मूलद्रव्यांच्या मर्यादेतच ही अचानक विखंडनाची प्रक्रिया अतिशय प्रभावीरित्या कार्यरत झालेली पहावयास मिळते.

अशा युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासाने ४० वर्षांचा कालावधी व्यापला असून त्या अवधीत शास्त्रज्ञ युरेनिअमपलिकडे पंधरा पाऊले म्हणजे मूलद्रव्य क्र. १०७ पर्यंत पोहोचले. आजच्या आधुनिक कालाच्या मानाने ४० वर्षांचा कालावधी खरोखरच मोठा वाटतो यात शंका नाही. आपण जर आलेख काढला आणि त्यात आडवा अक्ष मूलद्रव्यांच्या संख्येचा व उभा अक्ष कालावधीचा (वर्षांचा) दाखविला तर सिद्ध होणारा आलेख

जणू भूकंपाच्या आलेखाप्रमाणेच तयार होईल. पण युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचा आलेख मात्र बराचसा संथ गतीने वाढत जाणारा व स्पष्ट सुळक्यांसदृश टोके दाखविणारा असेल. युरेनिअमोत्तर अशा प्रत्येक नव्या मूलद्रव्याचे संश्लेषण म्हणजे अणुक्रमांकात एकाने भर ठरते (त्यास एकुलता एक असणारा अपवाद सोडता).

संश्लेषणात्मक इतिहासात आपणास अडचणींवर मात केलेले आणि निष्क्रिय असे दोन्ही प्रकारचे कालखंड पहावयास मिळतील. अडथळ्यांतून यशस्वी वाट काढणारा पहिला टप्पा म्हणजे १९४० ते १९४५ असून तेव्हा चार युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये म्हणजेच नेप्च्यूनिअम (अणुभार ऊर्फ (Z = 93) प्लूटोनिअम (Z = 94) अमेरिसिअम (Z = 95) आणि क्यूलिअम (Z = 96) संश्लेषित करण्यात आली. त्यानंतर १९४९ पर्यंत काळ निरर्थक ठरला, पण पुढे १९४९ ते १९५२ या काळात संशोधनास पुन्हा वेग मिळून बर्केलिअम (Z = 97), कॅलिफोर्निअम (Z = 98), आइनस्टिनिअम (Z = 99) व फर्मीअम (Z = 100) या चार संश्लेषित अशा नव्या मूलद्रव्यांची आवर्ती पद्धतीत भर पडली. १९५५ मध्ये म्हणजे युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचे प्रथमतः संश्लेषण झाल्यानंतर पंधरा वर्षांनी आणखी एका मूलद्रव्याची ऊर्फ मेंदेल्येविअमची (Z = 101) भर पडली. पुढच्या पंचवीस वर्षांनी मात्र फारच थोड्या संश्लेषणक्रिया पाहिल्या व परिणामी फक्त सहा नव्या मूलद्रव्यांची आवर्ती कोष्टकात भर पडली. यावेळी मात्र शास्त्रज्ञांना अगदी नव्या समस्यांना तोंड द्यावे लागले आणि मूलद्रव्यांच्या संशोधनाबाबत प्रचलित ठरलेल्या कित्येक जुन्या पद्धती निरूपयोगी असल्याचे ध्यानात आले.

तसे हे बदलते स्वरूप केवळ दिशाहीन होत गेले असे मात्र म्हणता येणार नाही तर साऱ्या यशापयशामागे निश्चित अशी वस्तुस्थितीविषयक कारणे होती. जसजशी ही मूलद्रव्ये आपण एकामागोमाग एक याप्रमाणे विचारात घेऊ तसतशी ही कारणे स्पष्ट होणारच आहेत. ही सुरुवात आपण नेप्च्युनिअम या पहिल्या युरेनिअमोत्तर संश्लेषित मूलद्रव्याने करू या.

नेप्च्युनिअम

हे अगदी खरेच आहे की पहिल्या युरेनिअमोत्तर क्षार द्रव्याने भरलेली परीक्षा-नलिका फर्मीने इटलीच्या राणीस भेट म्हणून कधीच दिली नव्हती. वृत्तपत्रीय सनसनाटी बातमी याखेरीज या हकिकतीस मुळीच महत्त्व नव्हते.

तथापि हे मात्र खरे होते की फर्मीच्या हातास मूलद्रव्य क्र. ९३ जरूर लागले होते, एवढेच की त्या वेळी तसे सिद्ध करता आले नाही. त्याच्या प्रयोगात लक्ष्य म्हणून जे युरेनिअम वापरले गेले त्यामध्ये युरेनिअम-२३८ व युरेनिअम-२३५ असे दोन समस्थानीय होते. त्यापैकी दुसरे मंदगतीच्या न्यूट्रानांमुळे विदलन पावले व त्यामुळे आवर्ती पद्धतीच्या मध्यभागी असणाऱ्या मूलद्रव्यांचे केंद्रक ऊर्फ दोन खंड तयार झाले. त्यामुळे रासायनिक परिस्थिती फारच गुंतागुंतीची ठरली आणि विदलन गुणधर्माचा शोध लागल्यानंतरच तिचा उलगडा झाला.

पण युरेनिअम-२३८ मार्फत न्यूट्रॉन शोषले जाऊन त्याचे रूपांतर युरेनिअम-२३९ या नव्या समस्थानियात झाले. या बीटा-किरणाविषयक कार्यशाली समस्थानियामुळे युरेनिअमोत्तर पहिल्या व अणुक्रमांक ९३ असणाऱ्या मूलद्रव्याच्या समस्थानियास जन्म दिला गेला. फर्मी व त्याचा सहाय्यक गट नेमके असेच समजले. पण पुढे अस्तित्वात येणारे नेप्च्युनिअम मूलद्रव्य असंख्य तुकड्यांमधून शोधणे महाकठीण काम होते. तिसऱ्या दशकाच्या मध्यास केल्या गेलेल्या प्रयोगांमधून काहीच निष्पन्न न होण्यामागे वरील कारण होते.

हान व स्ट्रासमानच्या शोधामुळे युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचे प्रत्यक्ष संश्लेषण करण्यास निश्चित स्वरूपाची चालना मिळाली. प्रथम गरज होती ती अशा तंत्राची की ज्यामुळे विदलित तुकड्यांमधून मूलद्रव्य क्र. ९३ शोधून काढता येईल. या तुकड्यांचे वस्तुमान तुलनात्मकदृष्ट्या अल्पसे असल्यामुळे मूलद्रव्य ९३ च्या जादा वस्तुमान असणाऱ्या अणूंपेक्षा त्यांना अधिक लांबीची अंतरे चालून जावी लागत.

कॅलिफोनिया विद्यापीठाच्या इ. मॅक्मिलन या अमेरिकन भौतिकशास्त्रज्ञाने वरीलप्रमाणे प्रतिपादन केले. त्यापूर्वी १९३९ च्या वसंत ऋतूत त्यांनी युरेनिअमच्या विदलनाच्या तुकड्यांचे जे मार्ग असतात त्यांचे वितरण कशा प्रकारे असते याचे विश्लेषण सुरू केलेच होते. या कामात त्यांना तुकड्यांचे असे काही नमुने मिळविता आले की ज्यांचा मार्ग फारच लहानसा आहे. अशाच नमुन्यात त्यांना किरणोत्सारी पदार्थाचा अंशमात्र भाग सापडला व त्याचे अर्धायु २.३ दिवसांचे व अंगी उच्च प्रकारची प्रारणक्षमता असल्याचे दिसून आले. विदलनातील इतर तुकड्यांमार्फत मात्र अशा प्रकारची कार्यशीलता पहावयास मिळाली नाही. मॅक्मिलननी असे दाखवून दिले की हा

अज्ञात पदार्थ युरेनिअमच्या समस्थानीयाच्या विदलनातून निर्माण झाला असून तो लघुमार्गी तुकड्यातही सापडला आहे. या प्रक्रियेची फर्मीने जी मालिका सुचविली ती पुढीलप्रमाणे लिहिली गेली :

$$^{238}_{92}U + n \longrightarrow {}^{239}_{92}U \xrightarrow{\beta-} {}^{239}93$$

आता मात्र शोधकार्य अंधारात चाचपडत करण्याचे मुळीच कारण नव्हते नवे मूलद्रव्य रासायनिक विश्लेषणदृष्ट्या तपासून पाहण्याचे कामच काय ते उरले होते. उन्हाळयाच्या सुट्टीत मेक्मिलनने आपल्या रसायनज्ञ, पी. एबेलसन या मित्रास बोलावून घेतले आणि मूलद्रव्य ९३ च्या शोधामध्ये ही भेट फार निर्णायक ठरली. या दोघांनी मिळून त्या नव्या मूलद्रव्याचे रासायनिक स्वरूप निश्चित केले व त्याचे २.३ दिवसांचे अर्धायुही निश्चित केले. हे मूलद्रव्य थोरिअम व युरेनिअमपासून रासायनिकदृष्ट्या वेगळे करणे शक्य असून ते थोडेसे त्यांच्यासारखेच काही बाबतीत होते एवढेच. पण हे नवे मूलद्रव्य ऱ्हेनिअमसदृश मात्र मुळीसुद्धा नव्हते. म्हणजेच मूलद्रव्य ९३ हे एका-ऱ्हेनिअमशी मिळतेजुळते असल्याचा हा सिद्धान्त धुडकाविला गेला.

१९४० च्या सुरुवातीस "फिजिकल रिव्ह्यू"मध्ये मूलद्रव्य ९३ चा खराखुरा शोध प्रसृत झाला. सूर्यमालेत असणाऱ्या युरेन्स ग्रहाच्या पलिकडे असणाऱ्या नेप्च्यून या ग्रहावरून या मूलद्रव्यास नेप्च्युनिअम असे नाव दिले गेले. (आवर्ती पद्धतीत जेथे युरेनिअमपाठोपाठ नेप्च्युनिअम येते, त्यांचे साधर्म्य पहावयासही मिळते.)

नेप्च्युनिअमच्या संश्लेषणातून एक विशिष्ट आविष्कार पहावयास मिळाला आणि तो सर्व युरेनिअमोत्तर संश्लेषणांच्या बाबतीत मोठा खास स्वरूपाचा ठरला (अर्थात इतरही संश्लेषणात्मक मूलद्रव्यांच्या बाबतीत तसेच अनुभवास आलेच आले). पहिल्यांदा एक विशिष्ट वस्तुमानांक असणारे समस्थानीय संश्लेषित केले गेले. नेप्च्युनिअमबाबतीत तो नेपच्युनिअम-२३९ हा समस्थानीय होता. तेव्हापासून असा नियमच ठरून गेला की एखाद्या नव्या युरेनिअमोत्तर अशा मूलद्रव्याच्या शोधाची तारीख ठरविण्यासाठी त्याच्या पहिल्या व विश्वासार्ह अशा समस्थानीयाचा शोध जेव्हा लागेल त्यावेळची तारीख ग्राह्य धरावयाची. पण असा समस्थानीय पुष्कळवेळा अत्यल्प अर्धायूचा ठरून त्याचे भौतिक व रासायनिक विश्लेषण करणे तर बाजूलाच राहो, पण त्याचे व्यावहारिक उपयोग सिद्ध करणे मुळीच शक्य होत नसे.

अशा वेळी जो समस्थानीय अधिकतम दीर्घायूचा असेल त्याचाच भौतिक-रासायनिक अभ्यास उत्तमप्रकारे शक्य होई. नेप्च्यनिअमच्या बाबतीत नेप्च्युनिअम-२३७ हा अशा प्रकारचा समस्थानीय होता व त्याचे संश्लेषण १९४२ मध्ये पुढील प्रक्रियाद्वारे केले गेले :

$$^{238}_{92}\mathrm{U}(n,\ 2n)\,^{237}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\beta-} {}^{237}_{93}\mathrm{Np}$$

या समस्थानीयाचे अर्धायु $२.२ - १०^{६}$ वर्षांचे असते. तथापि, त्याच्या संश्लेषणकार्यात फार मोठ्या अडचणी असतात. म्हणूनच, नेप्च्युनिअमच्या गुणधर्मांचा प्राथमिक अभ्यास, त्याच्या तिसऱ्या क्रमांकाच्या म्हणजे नेप्च्युनिअम-२३८ या समस्थानीयाच्या $^{238}_{92}\mathrm{U}(d,\ 2n)\,^{238}_{93}\mathrm{Np}$ या केंद्रकीय प्रक्रियेमार्फत संश्लेषण केले गेले. म्हणूनच, युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासामार्फत दीर्घ काळ न टिकणारा पण विश्लेषणाच्या कामी मात्र अतिशय सोयीस्कर असणाऱ्या समस्थानीयाच्या संश्लेषणाची तारीखही अशा युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासात नोंदविण्याची पद्धत पडली आहे.

नेप्च्युनिअमच्या संश्लेषणापासून अमेरिकन शास्त्रज्ञांनी युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संशोधनात दीर्घकाल अग्रेसरत्वाची भूमिका पार पाडली आहे. याचे एक कारण असे की दुसऱ्या महायुद्धच्या हालअपेष्टा अमेरिकेच्या वाटचास फारच थोड्याशा प्रमाणात अनुभविण्यास मिळाल्या. तरीसुद्धा लक्षात घेण्याजोगी घटना अशी की जर्मन भौतिकशास्त्रज्ञ के. स्टार्क याने १९४२ काळीसुद्धा स्वतंत्रपणे, वैयक्तिकरीत्या मूलद्रव्य क्र. ९३ चे यशस्वीपणे संश्लेषण केलेच.

१९४४ मध्ये वजनात सांगण्याइतपत (तरीसुद्धा केवळ काही मिलिग्रॅमएवढेच) नेप्च्युनिअम संश्लेषणद्वारे तयार केले गेले. आता मात्र केंद्रकीय अणुभट्टीत ते अनेक किलोग्रॅममध्ये सांगता येण्याएवढे निर्माण केले जाते.

नेप्च्युनिअमचे एकूण १३ समस्थानीय आज माहीत आहेत. त्यापैकी एक म्हणजे नेप्च्युनिअम-२३७ याचा शोध १९५२ मध्ये निसर्गात लागला. हे असे आणखी एक उदाहरण आहे, पूर्वीच संश्लेषित करण्यात आलेल्या मूलद्रव्याचा नंतर निसर्गात शोध लागला आणि ज्याच्या शोधाच्या दोन तारखा दिल्या जातात (टेक्निशिअम, प्रोमेथिअम, अॅस्टाटाइन आणि फ्रान्सिअम यांची अशी उदाहरणे ज्ञात आहेतच).

प्लूटोनिअम

नेप्च्युनिअम-२३९ हा समस्थानीय बीटाकणांबाबत कार्यकारी असून त्याचे नियमितपणे नंतरच्या ९४ क्रमांकाच्या मूलद्रव्यात नेहमीच रूपांतरण करणे आवश्यक असते. मॅक्मिलन व अॅबेलसन यांनी हे मूलद्रव्य शोधण्याची आशा बाळगली खरी पण त्यांचे स्वप्न काही पुरे होऊ शकले नाही. पुढे निष्पन्न झाल्याप्रमाणे मूलद्रव्य ९४ च्या समस्थानीयाचा वस्तुमानांक २३९ असून त्याचे दीर्घायु फार दीर्घावधीचे पण त्याची कार्यशीलता फारच क्षीण-स्वरूपी असते. नेप्च्युनिअमच्या शोधकांनी केवळ आल्फा कणांची कार्य-शीलता कोणत्यातरी अज्ञात उद्गमस्थानापासून शोधून काढली (पुढे मात्र हे अज्ञात कारण म्हणजे अगदी असंदिग्धपणे ९४ क्रमांकाचेच मूलद्रव्य असल्याचे निष्पन्न झाले). पुढे त्या संशोधकांनी आपले काम अर्धवट सोडले.

मूलद्रव्य ९४ च्या पुढील कामाची धुरा प्रसिद्ध अमेरिकन शास्त्रज्ञ जी. सीबोर्ग यांनी स्वीकारली. त्यांच्या गटाने युरेनिअमोत्तर अनेक मूलद्रव्यांचा शोध लावला हे सर्वश्रुतच आहे. १९४०-४१ च्या हिवाळयात त्यांनी $^{238}U(d, 2n)$ या केंद्रकीय प्रक्रियेचा अभ्यास केला व त्यायोगे नेप्च्युनिअम-२३८ या समस्थानीयाचा शोध लागला. हा आल्फाकणांबाबत कार्यरत असणारा पदार्थ कालौघात वरील प्रक्रियेच्या उत्पादनात साचला होता. वरील शास्त्रज्ञांनी तो अलग केला आणि जाणले की मूलद्रव्य ९४ चाच तो समस्थानीय असून त्याचा वस्तुमानांक २३८ व अर्धायु ५० वर्षांचे आहे. या नव्या मूलद्रव्यास प्लूटोनिअम असे नाव दिले गेले व सौरमालेतील एका ग्रहाशी ते संबंधित आहे.

पण पुन्हा एकदा निष्पन्न झाले की हा समस्थानीय काही दीर्घ काल टिकणाऱ्या अर्धायूचा नव्हे. सर्वात दीर्घ काल टिकणारा व वस्तुमानांक २४४ चा आणि $८.३ - १०^{७}$ वर्षे अर्धायु असणारा समस्थानीय अगदी अलिकडेच १९५१ मध्ये सापडला. प्लूटोनिअमच्या या निर्णायक अभ्यासास गती मिळाली ती प्लूटोनिअम-२३९ या समस्थानीयाचे १९४१ च्या हिवाळयात जे संश्लेषणकार्य झाले त्यामुळे. त्याची दोन वैशिष्टये म्हणजे एक तर तो दीर्घायुष्याचा (२४३६० वर्षांएवढे दीर्घायु असणारा) आणि दुसरे वैशिष्टय म्हणजे त्याची मंदगती न्यूट्रॉनांच्या परिणामाखाली होणारी विदलनक्षमता ही युरेनिअम-२३५ पेक्षा कितीतरी अधिक प्रमाणात असते. केंद्रकीय शस्त्रसंभार

वापरण्याच्या कामी हे रासायनिक गुणधर्म अगदी खास काळजीपूर्वकपणे अभ्यासिले गेले. याचा एक परिणाम असा झाला की आवर्ती कोष्टकातील अगदी परिपूर्णरीत्या अभ्यासण्यात आलेले मूलद्रव्य म्हणून प्लूटोनिअमची ख्याती झाली. आणखी एक वैशिष्टच म्हणजे नंतरच्या युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संश्लेषणार्थ लक्ष्य म्हणून प्लूटोनिअमचा वापर करणे शक्य असते. हे सारे ज्ञान विस्तृतपणे झाले ते चौथ्या दशकाच्या अखेरीस, जेव्हा केंद्रकीय ऊर्जे-वरील संशोधन कार्य मोठ्या प्रमाणात गुप्त रीतीने केले गेले. मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील ही मोठी वैचित्र्यपूर्ण हकिकत ठरते की जेव्हा नव्या वैचित्र्यांचा शोध काही काळ गुप्त ठेवला गेला.

प्लूटोनिअमच्या कामात एवढ्या गतीने काम केले गेले आणि एवढे तीव्र प्रयत्न केले गेले की अगदी १९४२ च्या ऑगस्टमध्येच मोजमाप करण्याएवढ्या मोठ्या प्रमाणात प्लूटोनिअम उत्पादित करता आले. संश्लेषित मूलद्रव्यांच्या इतिहासात अत्यंत वेगवान कामाचा तो एक उच्चांकच म्हटला पाहिजे. आप-ल्या आजच्या काळात पृथ्वीवर सापडणाऱ्या अनेक स्थिरस्वरूपी समस्थानी-यांपेक्षा केवढ्या तरी जास्त प्रमाणात प्लूटोनिअमचे उत्पादन केले जाते. प्लूटोनिअमचे एकूण १७ समस्थानीय आज माहीत आहेत.

नेप्च्युनिअमप्रमाणेच प्लूटोनिअम-२३९ हा समस्थानीय युरेनिअमच्या खनिजात सापडतो खरा पण केवळ खुणेच्या स्वरूपातच. नैसर्गिक न्यूट्रॉनांच्या परिणामामुळेच त्याची युरेनिअममध्ये निर्मिती होते, म्हणजेच ज्यांच्याबद्दल संशोधनात्मक दोन तारखा सांगण्याची वरची मर्यादा संपुष्टात येते अशी नैसर्गिक मर्यादा प्लूटोनिअममार्फत आवर्ती पद्धतींत दर्शविली जाते.

अमेरिसिअम आणि क्यूरिअम

युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासात असा एकुलता एकच प्रसंग असेल की अलिकडच्या मूलद्रव्याच्या क्रमांकाच्याही आधी (क्र. ९५ आधी) नंतरचे मूलद्रव्य (क्र. ९६) प्रथम संशोधिले गेले. कॅलिफोर्निया विद्यापीठा-तील ज्या सायक्लोट्रॉनने जगापुढे प्लूटोनिअमसह अनेक संश्लेषित मूलद्रव्ये सादर केली त्याच सायक्लोट्रॉनची १९४४ च्या जुलैमध्ये नवी मूलद्रव्ये तयार करण्यासाठी सिद्धता केली गेली. या कामी सीबोर्ग व त्याच्या सहकाऱ्यांनी प्रवेगित आल्फा कणांचा प्लूटोनिअमच्या लक्ष्यावर, भडिमार केला. कोणा-च्याही सहजच लक्षात येईल की या आल्फा कणांवर, हेलिअमच्या केंद्रकावर

दोन हा भार असल्यामुळे प्रक्रियेतून तयार होणारा पदार्थ म्हणजे मूलद्रव्य ९६ चाच समस्थानीय असावयास पाहिजे. मात्र अस्तित्वात येणाऱ्या त्याच्या केंद्रकातून न्यूट्रॉन उत्सर्जित झाले पाहिजेत. जर प्रक्रिया-यंत्रणेतून न्यूट्रॉनऐ-वजी प्रोटॉन बाहेर पडले तर मूलद्रव्य ९५ चा समस्थानीय तयार होईल. हे खरेच की प्लूटोनिअमच्या लक्ष्यामार्फत अनेक किरणोत्सारी पदार्थ तयार होतात व त्यामुळे सुरुवातीसुरुवातीस "कोणता कोण" हे समजणे कठीण जात असे. केवळ अत्यंत चतुर रसायनज्ञासच मोठ्या कौशल्यपूर्ण विश्लेष-णाच्या सहाय्याने समजत असे की या मिश्रणात ^{२४२}९६ हा समस्थानीय निश्चितपणे आहे. याच समस्थानीयाचा शोध पडताळून पाहण्यासाठी, प्लूटो-निअम-२३९ वर उच्च तीव्रतेच्या न्यूट्रॉन-शलाकेचा भडिमार केला जातो व त्यातून पुढील प्रक्रियांची साखळी निर्माण होते –

$$^{239}Pu + n \longrightarrow {}^{240}Pu + n \longrightarrow {}^{241}Pu \xrightarrow{\beta^-} {}^{241}95 + n \longrightarrow {}^{242}95 \xrightarrow{\beta^-} {}^{242}96$$

न्यूट्रॉन शोषून घेतल्यानंतर प्लूटोनिअमचे, बीटा-ऱ्हासामुळे मूलद्रव्य ९५ मध्ये रूपांतर होते आणि या मूलद्रव्याने (९५) न्यूट्रॉनचे शोषण केले असता ते मूलद्रव्य ९६ मध्ये रूपांतरित होते:

हा अंतिम पदार्थ शास्त्रज्ञांना जसा अपेक्षित, म्हणजेच वस्तुमानांक २४२ असणारा व मूलद्रव्य ९६ च्या समस्थानीयासारखाच होता. नव्याने शोधले-ल्या या मूलद्रव्याचे नाव क्यूरिअम असे क्यूरी दांपत्याच्या स्मरणार्थ ठेवले गेले. हे नाव निवडण्यामागे आणखी एक कारण होते. मेंदेलेयेवच्या कोष्ट-कात मूलद्रव्य-९६ हे गॅडोलिनिअमसदृश समजले गेले व ते मृदवर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या मालिकेतील आहे. या मालिकेच्या इतिहासाची सुरुवात जे. गॅडोलिने याने केली व त्यामागोमाग क्यूरींनी किरणोत्साराचा पाया घातला व मोठे विस्मयजनक निष्कर्ष सादर केले.

१९४५ च्या जानेवारीमध्ये न्यूट्रॉनांचा प्लूटोनिअमवर भडिमार करून प्लूटोनिअमपासूनच मूलद्रव्य क्र. ९५ अलग केले गेले. या मूलद्रव्यास अमेरिसिअम हे अमेरिका खंडाच्या सन्मानार्थ आणि युरोपिअमसदृश नाव देण्यात आले.

अशा प्रकारे संश्लेषणात्मक कामात संशोधकांनी गाढा अनुभव जरी मिळ-विला तरी अमेरिसिअम व क्यूरिअम यांच्या निर्मितीकार्यात मात्र त्यांना

असामान्य अडचणीना तोंड द्यावे लागलेच. अमेरिसिअम-२१४ व क्यूरिअम-२४२ या दोहोंमधला फरक स्पष्ट करण्यामध्ये बराच काळ खर्ची पडला. हे दोन्हीही समस्थानीय काही फार मोठ्या दीर्घायूचे नव्हते. अत्यधिक काळ अस्तित्वात राहणारे समस्थानीय म्हणजे अमेरिसिअम-२४३ (अर्धायु ७९५० वर्षांचे) व क्यूरिअम-२४२ (अर्धायु १.६४ – $१०^{७}$ वर्षे). अगदी अलिकडेच म्हणजे या शतकाच्या पन्नाशीतच त्यांचा शोध लावण्यात आलेला आहे. आमेरिसिअमचे ११ व क्यूरिअमचे १३ याप्रमाणे त्यांच्या ज्ञात समस्थानीयांची सध्याची संख्या आहे. विशेषशुद्ध अमेरिसिअम १९४५ मध्ये वेगळे करणे शक्य झाले आणि १९५१ मध्ये धातुरूपात तयार केले गेले. त्याच वर्षी धातुरूप क्यूरिअमही तयार करणे शक्य झाले.

क्यूरिअमच्या शोधामुळे युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील पहिला अडसर किंवा मार्गातील खीळ दूर केली गेली. विज्ञानाच्या दृष्टीने नेप्च्युनिअम, प्लूटोनिअम, अमेरिसिअम व क्यूरिअम यांना असाधारण महत्त्व आहे. ही पहिलीच वेळ अशी होती की ज्यावेळी शास्त्रज्ञांनी आवर्ती पद्धतीच्या मर्यादा न जुमानता ही पद्धत त्याच्याही पलिकडे यशस्वीपणे विस्तारली. या मूलद्रव्यांचे गुणधर्म अपेक्षांपेक्षा अत्यंत भिन्नस्वरूपी पाहण्यात आले आणि आवर्ती पद्धतीत त्यांना अगदी चपखलपणे सर्वसंमतरीत्या कसे स्थानापन्न करता येईल याचा रसायनज्ञ मोठ्या गांभीर्याने विचार करू लागले.

बर्केलिअम

अमेरिसिअम व क्यूरिअम यांच्या संश्लेषणकार्याने वेग घेतला याचे खरे कारण म्हणजे प्लूटोनिअम-२३९ ची सहजसुलभ उपलब्धता हे होय. त्याची मोठ्या प्रमाणात कशी निर्मिती करावी याची गुरूकिल्ली शास्त्रज्ञांनी अल्पावधीतच हस्तगत केली आणि मग प्लूटोनिअमच्या लक्ष्यांचा प्रश्नच उरला नाही. यापुढचा प्रश्न होता तो म्हणजे अमेरिसिअम व क्यूरिअम पुरेशा प्रमाणात कसे संश्लेषित करावे. पुढची प्रगती त्या क्षमतेवरच खरी अवलंबून होती. त्यास मात्र बरीच वर्षे लागली. पण युरेनिअमोत्तर व नव्या मूलद्रव्यांच्या शोधांच्या मार्गात तेवढीच काही अड होती असे नव्हे. जेव्हा एखादी केंद्रकीय प्रक्रिया कागदावर समीकरणाच्या स्वरूपात लिहिली जाते तेव्हा ते सारे

दिसावयास फारच सोपे असते पण त्यानुसार प्रत्यक्ष उत्पादन करणे केवढ्या प्रचंड अडचणींनी भरलेले असते याची जाणीव तज्ज्ञांवाचून येणे अशक्य असते. अशा केंद्रकीय प्रक्रिया प्रत्यक्षात घडवून आणण्यासाठी संशोधकांना छोट्यातले छोटे, नखभर बारकावे मोठ्या विचारपूर्वक योजावे लागतात, त्यांची काटे-कोरपणे आखणी करणे फार जरूरीचे असते. त्यायोगे सैद्धांतिक आकडेमोडीतून केंद्रकीय प्रक्रियेतून कोणत्या प्रकारचे किरणोत्सारी रूपांतरण घडून कोणते समस्थानीय संश्लेषित होतील हे वर्तविणे शक्य होते. तसेच त्यांच्या अर्धायूं-चाही मागोवा घेता येतो. दुर्दैवाने, केंद्रकीय भौतिकशास्त्रज्ञांजवळ रसायन-शास्त्रज्ञांना त्यांनीच पुरविलेल्या आवर्ती पद्धतीचे मोठे प्रभावी शस्त्र उपलब्ध नाही. या व वर सांगितलेल्या कारणांमुळे युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संशो-धनात आलेली सुस्ती पाच वर्षांपावेतो कायम राहिली. या बाबतीत आणखी एका मुद्याचा विचार होणे जरूरी आहे. अमेरिसिअम आणि क्यूरिअम यांची कार्यप्रवणता एवढी प्रभावी आहे की उघड्या वातावरणात त्यांच्यासह काम करणे अतिशय भयानक, जणू मृत्यूसच आमंत्रण म्हटले पाहिजे. असे प्रयोग-कार्य करण्यासाठी ज्या खास प्रयोगशाळा लागतात त्यासाठी अत्यंत खास प्रकारच्या यंत्रसामग्रीची व उपकरणांची नितान्त आवश्यकता असते.

१९४९ च्या शेवटीशेवटी सीबोर्ग व त्यांच्या संशोधक-गटाने अमेरिसि-अमचे लक्ष्य तयार करण्यात यश मिळविले आणि त्यावर आल्फा कणांचा भडिमार केला. सैद्धांतिक शास्त्रज्ञांनी अगोदरच वर्तविल्याप्रमाणे, $^{241}Am(\alpha, 2n)^{243}97$ ही केंद्रकीय प्रक्रिया त्यातून निष्पन्न झाली. या नव्या मूलद्रव्याचे नाव बर्कलिअम असे ठेवले गेले व ते बर्क्ली (कॅलि-फोर्निया) या गावाच्या सन्मानार्थ होते. (वायटर्बू या नावाच्या खेड्याची आठवण तुम्हास असेलच. अनेक मृद्वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांना या गावाने नावे बहाल केली आहेत). आज बर्कलिअमचे जे नऊ समस्थानीय माहीत आहेत त्यापैकी बर्कलिअम-२४० हा अत्याधिक टिकणारा समस्थानीय असून त्याचे अर्धायु १३८० वर्षांचे आहे. हा समस्थानीय १९५६ मध्ये संश्लेषित केला गेला. दोन वर्षांच्या अवधीत बर्कलिअम वजनात मोजमाप करता येण्याजोगे साचले आणि १९७१ मध्ये धातुरूपातील बर्कलिअम मिळ-विले गेले. बर्कलिअम तयार करण्यात कोणत्या अडचणी आल्या त्याचे मोठे नाट्यमय व अविश्वसनीय वाटण्याजोगे उदाहरण देता येईल. केवळ काही मायक्रोग्रॅम बर्कलिअम निर्माण करण्यासाठी प्लूटोनिअम-२३९ च्या फक्त

८ ग्रॅमवर अणुभट्टीमध्ये पाचवर्षांपावेतो न्यूट्रॉनांचा भडिमार करावा लागला! संशोधक युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या प्रदेशात जो जो पुढे सरकतील तो तो अधिकाधिक अल्प प्रमाणात उपलब्ध होणाऱ्या साहित्यानिशी त्यांना काम करावे लागेल.

कॅलिफोर्निअम

सीबोर्ग व त्यांच्या सहकाऱ्यांनी बर्केलिअमनंतर अल्पकाळातच मूलद्रव्य क्र. ९८ संश्लेषित केले. १९५० च्या जानेवारी – फेब्रुवारीत त्यांनी अगोदर निर्मिती-प्रक्रियेची समिकरणात्मक सिद्धता केली – $^{242}Cm(\alpha, n)^{245}98$ आणि सदरहू प्रक्रिया प्रत्यक्ष पार पाडली. त्यातून मिळालेल्या नव्या मूलद्रव्यास कॅलिफोर्निया विद्यापीठाच्या व कॅलिफोर्निया राज्याच्या सन्मानार्थ कॅलिफोर्निअम असे नाव दिले. तसेच मूलद्रव्य ९८ हे मृद्‌वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्य 'डिस्प्रोसिअम' (म्हणजे तेथेपर्यंत पोचण्यास वा जाण्यास अवघड अशा अर्थी) जसे, गतशतकात कॅलिफोर्नियास पोहोचण्यास दुरापास्त तद्‌वतच हे मूलद्रव्य निर्मिण्यासही अफाट कष्ट झाल्याचेही हे नाव सुचविण्याचा हेतू होताच. कॅलिफोर्निअमचे एकूण १४ समस्थानीय माहीत झाले असून त्यापैकी सर्वात अर्धायु असणाऱ्या (९०० वर्षे) कॅलिफोर्निअम-२५१ या समस्थानीयाचा शोध १९५१ मध्ये लागला. १९५८ मध्ये मोजमाप करण्याजोगे कॅलिफोर्निअम तयार केले गेले व १९७१ मध्ये ते धातुरूपात मिळविण्यात आले.

आइन्स्टेनिअम व फर्मिअम

कॅलिफोर्निअमच्या संश्लेषणानंतर अमेरिकेतील (तसेच इतर देशातील) शास्त्रज्ञ युरेनिअमोत्तर संश्लेषणाच्या भावी योजनांचा गांभीर्यपूर्वक आढावा घेऊ लागले. नजीकच्या भविष्यकालात वजनदार अशा युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संश्लेषणकामास हात घालणे कितपत योग्य ठरेल याची शक्यता अजमावू लागले.

एक प्रत्यक्ष वस्तुस्थिती अशी होती की बर्केलिअम व कॅलिफोर्निअम पुरेशा प्रमाणात साठविण्यास योग्य अशी व्यावहारिक पद्धती हाताशी नव्हती. तशी जरूरी तर होतीच होती, कारण त्यामुळे मूलद्रव्य ९९ व १०० निर्मिण्यासाठी आल्फा कणांचा ज्यावर भडिमार करता येईल असे लक्ष्य उपलब्ध

झाले असते. पण तसे शक्य होत नसण्याचे कारण हे की बर्केलिअम व कॅलिफोर्निअम यांची अर्धायुष्ये काही तासामिनिटात मोजण्याएवढी अल्पकालीन असत आणि अत्यधिक अर्धायूंचे समस्थानीयही तशाच प्रकारचे होते. एकच शक्य मार्ग उपलब्ध होता, तो म्हणजे अगदी उच्चतम तीव्रतेच्या न्यूट्रॉन शलाकेचा प्लूटोनिअमवर मारा करणे. पण त्यातून जो निष्कर्ष मिळण्याची शक्यता होती तो हाती येण्यास अनेक वर्षे वाट पाहण्यावाचून गत्यंतर नव्हते.

एवढे मात्र खरे की सर्व प्रश्न सोडविण्यास उपयोगी पडणाऱ्या उच्चतम तीव्रतेच्या न्यूट्रॉन शलाकेची अत्यंत गरज होती. जर युरेनिअम किंवा प्लूटो-निअममार्फत अगदी थोडक्या वेळेत अगदी मोठ्या संख्येत न्यूट्रॉनांचे ग्रहण झाले तर मग मात्र अत्यंत वजनदार अशा समस्थानीयांमध्ये त्यांचे रूपांतर होणे अगदी शक्य असते. उदाहरणार्थ,

$$^{238}_{92}U + 15n \longrightarrow ^{253}_{92}U$$

किंवा

$$^{238}_{92}U + 17n \longrightarrow ^{255}_{92}U$$

खूप पूर्वीपासूनच माहीत झाले होते की न्यूट्रॉन जादा प्रमाणात झाल्यास त्यापासून सुटका करण्यासाठी त्यांचे प्रोटॉनमध्ये रूपांतर करतात म्हणजेच बीटा-ऱ्हासामार्फत तसे साधले जाते. बीटा रूपांतरणाच्या या क्रमवार साख-ळ्या एवढ्या दीर्घस्वरूपी असणे शक्य असते की अखेर त्यामार्फत मूलद्रव्य ९९ व १०० चे समस्थानीय निर्माण होणे शक्य होते.

पण आकडेमोडीतून असे निष्पन्न होते की अशा प्रकारे सातत्याने चालू राहण्यास अणुभट्टीत न्यूट्रॉनांचा स्रोत जेवढा तीव्र असावयास हवा तेवढा मुळीच नसतो. शिवाय, सैद्धांतिक भौतिकशास्त्रज्ञांच्या भाकितानुसार मूलद्रव्य-९९ व १०० चे समस्थानीय अल्पशा अर्धायूंचे आहेत.

१ नोव्हेंबर १९५२ रोजी अमेरिकेने उष्म-अणुगर्भीय विक्रियेवर आधा-रलेल्या अणुबॉम्बचा प्रशांतसागरातील एनिबेटॉक नामक प्रवाळबेटावर ऊर्फ ॲटॉलवर स्फोट केला. या स्फोट स्थानावरील काही शेकडो कि. ग्रॅ. माती, सर्वप्रकारे काळजी घेऊन गोळा करण्यात आली व अमेरिकेस धाडण्यात आली. सीबोर्ग आणि गिओर्सी या शास्त्रज्ञांच्या अधिपत्याखाली असणाऱ्या गटाने या पडझडीतून मिळालेली माती अत्यंत काळजीपूर्वक अभ्यासिली. त्यांना असे दिसून आले की त्यामध्ये युरेनिअमोत्तर अशा अनेक मूलद्रव्यांचे समस्था-

नीय तर आढळलेच पण दोन असेही समस्थानीय दृष्टोत्पत्तीस आले की जे मूलद्रव्य ९९ व १०० यांच्या समस्थानीयांपेक्षा दुसरे कोणतेच असणे शक्य नव्हते.

या उष्मअणुगर्भीय स्फोटातून न्यूट्रॉन-स्रोताची जी उच्चतम तीव्रता निर्माण झाली ती वर उल्लेखिलेल्या व युरेनिअममार्फत होणाऱ्या न्यूट्रॉन-ग्रहणांपेक्षा कितीतरी पटींनी जास्त होती. त्यामुळेच वर सांगितलेली युरेनिअममार्फत न्यूट्रॉन-ग्रहणाची प्रक्रिया शक्य झाली. युरेनिअम-२५३ व युरेनिअम-२५५ मार्फत अनुक्रमे ७ व ८ बीटा-कण उत्सर्जित झाले आणि त्यांचे $^{253}99$ व $^{255}100$ या समस्थानीयात रूपांतरण झाले. त्यांचे अर्धायु अल्पकालीन पण विश्लेषणकार्यार्थ पुरेसे (अनुक्रमे २० दिवस व २२ तास) ठरले.

या नव्या मूलद्रव्यांची आइनस्टेनिअम (ए. आइनस्टाइन यांच्या सन्मानार्थ) व फर्मिअम (इ. फर्मी यांच्या सन्मानार्थ) अशी नावे ठेवली गेली. त्यांचे अत्यधिक कालाचे अर्धायु ^{254}Es (अर्धायु २७० दिवस) व ^{252}Fm (अर्धायु ८० दिवस) हे समस्थानीय बऱ्याच काळानंतर प्रायोगिक वातावरणाच्या परिस्थितीखाली संश्लेषित केले गेले.

एकंदरीत असे म्हणता येईल की आइन्स्टेनिअम व फर्मीअम या मूलद्रव्यांचे शोध पूर्व-नियोजनातून लावले गेले नाही.

एक अनादि प्रश्न, "पुढे काय?" हा प्रश्न सोडविणे पूर्वीपेक्षाही अधिक कठीण झाले. एक अगदी स्वच्छ दिसणारी वस्तुस्थिती अशी जाणवत गेली की अणुक्रमांक जेवढा अधिक तेवढे समस्थानीयांचे अर्धायु मात्र कमी अल्पायुषी असते. असे जाणवले की जसे मूलद्रव्यांचे अणुक्रमांक १०० पेक्षा जास्त होत जातील तेवढे त्यांचे अर्धायु केवळ काही सेकंदातच मोजावे लागणार. हे समस्थानीय विश्लेषणकामास पुरेसे साचणे शक्य होईल असा विचार मनातसुद्धा आणता येणार नाही. तोपर्यंत, नवी युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये जाणून घेण्यास आयनआदलाबदलीचे तंत्र अंतर्भूत असणाऱ्या रंगलेखनाचे तंत्र वापरून व संबंधित मृद्‌वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांशी त्यांचे साधर्म्य प्रस्थापित करूनच ते काम करणे भाग होते. पण गंमत ही की अत्यल्पकालीन अर्धायूंचे समस्थानीय रंगलेखनाचा स्तंभ पूर्णपणे पार करण्यापूर्वीच ऱ्हास पावतील, व त्यायोगे रासायनिक चित्र पार बिघडवून टाकतील.

एकंदरीत, मूलद्रव्यांच्या संख्येच्या दुसऱ्या शतकाची अनुभूती येण्याच्या वाटेत निसर्गानेच अनुल्लंघनीय असा प्रचंड अडथळा निर्माण केला आहे तर!

मूलद्रव्य क्र. १०० चे संश्लेषण करण्यात ज्या एन्रिको फर्मी या शास्त्रज्ञाने युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या शोधांचा पाया घातला त्यांचे नाव या मूलद्रव्यास देण्यात शास्त्रज्ञांनी फार मोठी प्रगती व औचित्य साधले.

पण फर्मीअमपलिकडे मात्र, कोणालाही अगदी सुस्पष्टपणे दिसेल की युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचे संशोधन करणाऱ्या शास्त्रज्ञांचा, अचानक किंवा अनपेक्षितरीत्या विदलन होण्याचा केवढा मोठा शत्रू सुसज्ज उभा आहे. आकडेमोड असे दर्शविते की अणुक्रमांक-१०० असणाऱ्या समस्थानीयाचे, किरणोत्सारी यंत्रणेद्वारे घडणाऱ्या रूपांतरणामुळे आत्यंतिक अल्पसे अर्धायु असावयास हवे. आईन्स्टेनिअम व फर्मिअम यांचे सुरुवातीस यशस्वीरीत्या संश्लेषण झाले व त्यामुळे शास्त्रज्ञांमध्ये मोठा उत्साह निर्माण झाला. पण सैद्धांतिक शास्त्रज्ञांनी दावा केला की अचानक विदलनक्रिया लक्षात घेता, मिळणाऱ्या समस्थानीयांचे अर्धायु एवढे काही अत्यल्प असणार की फर्मिअम-नंतर काही प्रगती साधता येईल याची आशाच करावयास नको. मूलद्रव्य १०० च्या केंद्रकास बीटाकण उत्सर्जित करण्यास वेळ मिळतो न मिळतो तेवढ्यात त्याचे दोन खंडात विभाजनसुद्धा होऊन जाईल.

पण तरीसुद्धा अभिजात पारंपारिक पद्धतीच्या म्हणजे आल्फा कणांचा भडिमार करून संश्लेषित केले गेलेले मूलद्रव्य क्र. १०१ शेवटचे मूलद्रव्य ठरले. १९५५ पावेतो सीबोर्ग आणि त्याच्या गटाने आइन्स्टेनिअमच्या सुमारे १०९ अणूंचा साठा केला. हा शून्यवत साठा अत्यंत काळजीपूर्वक सोन्याच्या वर्खावर किंवा पत्रीवर लावण्यात आला. आइन्स्टेनिअमच्या तुलनेने या वर्खाची किंमत ती काय असणार, याची कल्पनाच करणे अशक्य आहे. असे हे लक्ष्य मग आल्फा कणांच्या भडिमाराखाली ठेवले गेले. शास्त्रज्ञांना वाटले की यामधून

$$^{253}_{99}Es(\alpha,\ n)^{256}101$$ ही

प्रक्रिया साधता येईल. प्रत्याघाती परिणामामुळे (प्रतिक्षिप्त परिणामामुळे) मूलद्रव्य १०१ च्या अणूंचे सोन्याच्या वर्खात वेधन झाले. ही भडिमाराची क्रिया संपल्यानंतर हा वर्ख विरघळविण्यात आला आणि द्रावणाचे विश्लेषण करण्यात आले. हे विश्लेषण रंगलेखनाच्या स्तंभात केले गेले. या कामातील

अगदी आणीबाणीचा प्रसंग म्हणजे मूलद्रव्य १०१ चे अणु असणारा अंश स्तंभ केव्हा पार करतो व अचानक विदलनक्रिया केव्हा घडते त्याची काटेकोरपणे नोंद घेणे.

पहिल्या प्रयोगात अचानक विदलनाच्या केवळ पाच (!) घटनांची नोंद झाली. पण मूलद्रव्य १०१ चा समस्थानीय ओळखून काढण्यास तेवढे पुरेसे होते. पुढे असे आढळले की त्याचे अर्धायु तीन तासांचे असून त्याचा वस्तुमानांक २६५ आहे. हे अर्धायु अपेक्षेपेक्षा जास्तच मोठे होते आणि या नव्या मूलद्रव्याच्या संश्लेषणास त्याने मौलिक मदत केली. त्यास महान रशियन रसायनज्ञ डी. मेंदेलेयेव याच्या सन्मानार्थ मेंदेलेव्हिअम (Md) असे नाव दिले गेले.

पुढे Md हे चिन्ह जेव्हा आवर्ती कोष्टकाच्या क्रमांक १०१ च्या जागेत कायम स्वरूपात स्थानापन्न झाले तेव्हा या मूलद्रव्याच्या संशोधकांनी आपल्या शोधाचे मोठे रंगतदार वर्णन केले. ते म्हणतात की आम्हा संशोधकांच्या गटात एक प्रकारच्या औदासिन्याची छाया पसरली होती. अतिकाळजीपूर्वक प्रयोग करून मूलद्रव्य क्र. १०१ च्या संश्लेषणाचे व ते शोधण्याचे फार प्रयत्न केले. पण यशाचे चिन्ह दिसेना. अखेर निर्णायक असा शेवटचा प्रयोग करण्यात आला व त्यामुळे यश मिळण्याची आशा वाटू लागली. खरे तर त्या हुलकावण्या देणाऱ्या मूलद्रव्याचे एकदोन अणु शोधता आले तरी फार नशीबवान ठरू असेच वाटत होते. आम्ही श्वास रोखून अत्यंत उत्कंठतेने, अचानक विदलन दाखविणाऱ्या वा नोंदविणाऱ्या उपकरणाकडे डोळ्यात प्राण आणून पाहत होतो. एक तास असाच निघून गेला, रात्रही पडली. वाट पाहण्याची मर्यादा जणू तुटेपर्यंत ताणली गेली.

आणि एकाएकी स्वयंचलित नोंद करणाऱ्या उपकरणाच्या लेखणीने धक्का घेतला व मापनपट्टीच्या मध्यावर येऊन, परत डावीकडे येऊन परतताना लेखणीने तांबड्या रेषेचे आरेखन केले. आयनीकरणाचा हा असा स्फोट किरणोत्सारी पदार्थांच्या अभ्यासात यापूर्वी कधीही अनुभविला नव्हता. विदलनाच्या अपेक्षेची सूचना देणाराच हा स्फोट असावा. त्यानंतर तासाभराने आणखी एक वरीलप्रमाणेच सूचना मिळाली. आता संशोधकांची खात्री पटली की मूलद्रव्य क्र. १०१ चे दोन अणु ऱ्हास पावले आणि रासायनिक मूलद्रव्यांच्या यादीत १०१ चा अंतर्भाव करण्यास हरकत नाही.

एक मोठी मजेदार गोष्ट अशी की विदलनाची घटना नोंदविणारे

उपकरण आगीची सूचना देणाऱ्या भोंग्यास जोडले होते. दरवेळी मूलद्रव्य १०१ च्या जन्माची जाहिरात त्यायोगे कान ठोठावणाऱ्या घंटानादाने केली गेली.

बारा वर्षांनी आढळून आले की मेंदेलेव्हिअमचा सर्वात अधिक आयुष्य असणारा समस्थानीय (मेंदेलेव्हिअम-२५८) असून त्याचे अर्धायु २ महिन्यांचे आहे. त्याच्या अस्तित्वामुळे मेंदेलेव्हिअमच्या रासायनिक गुणधर्मांचा काटेकोरपणे अभ्यास करणे शक्य झाले. मेंदेलेव्हिअमच्या शोधामुळे रेडिओ-रसायनशास्त्राचे एक नवे दालन ऊर्फ एकुलत्याएका अणूचेरसायनशास्त्र ही शाखा अस्तित्वात आली. एकामागोमाग येणाऱ्या युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या रासायनिक अभ्यासात या तंत्रज्ञानाने मोठी निर्णायक भूमिका बजावली आहे. मेंदेलेव्हिअमचे संश्लेषण म्हणजे युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संश्लेषण-इतिहासातील एक जलविभाजक पट्टा समजला जातो. पूर्वी वापरली गेलेली संश्लेषणाची सारी तंत्रे निरुपयोगी ठरली कारण लक्ष्य करण्यासाठी पुरेसे होईल एवढ्या प्रमाणात मेंदेलेव्हिअम साठणे शक्यच नाही. सैद्धांतिकांच्या दृष्टीने मूलद्रव्य क्र. १०१ च्या पलीकडील भाग म्हणजे 'भुताखेतांची वसती' असणारा आणि भूप्रदेश-संशोधकांना केवळ अगम्य असाच देश किंवा खंड असणार असेच वाटते. उघडच आहे की त्यानंतरची युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्ये केवळ काही सेकंदापुरती अस्तित्व असणारी, नव्हे सेकंदाच्या काही भागापुरतीच अस्तित्वात येणारी असणार!

पण ती मिळविता आली, तरी त्यांच्या गुणधर्मांचा अभ्यास करणे हे कमालीचे अवघड किंवा निव्वळ अशक्यप्राय ठरेल.

पण त्यासाठी ती कोणत्या प्रकारे मिळवावयाची? त्यासाठी कोणत्या प्रकारच्या केंद्रकीय प्रक्रिया उपयुक्त ठरतील? सुदैवाने पाचव्या दशकाच्या अखेरीस या प्रश्नास निश्चित स्वरूपाचे उत्तर उपलब्ध झाले. कार्बन, ऑक्सिजन, निऑन, अर्गॉन अशा हलक्या वजनांच्या मूलद्रव्यांचे विद्युत्भारित आयन अनेक पटीत भडिमारार्थ वापरले गेले. अशा परिस्थितीत मग जे लक्ष्य जरूरी असते ते रूढ अशा युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांपासून म्हणजे प्लूटोनिअम, अमेरिसिअम, क्यूरिअमपासून तयार करता येते. अशा प्रकारे लक्ष्याची समस्या सोडविली गेली. अर्थात, भडिमारासाठी "निव्वळ" केंद्रकांचा वापर करणे केव्हाही श्रेयस्कर (उदाहरणार्थ, आल्फा कण, जे हेलिअमचे केंद्रक असतात), पण अणूंवर कोणतेतरी "आवरण" देणे

जवळजवळ अशक्य असते. वर उल्लेखिलेले विद्युतभारित व गुणित आयन केंद्रकीय प्रक्रियात भाग घेण्याजोगे ठरण्यासाठी ते प्रवेगित करून अतिशय उच्च ऊर्जेप्रत न्यावे लागतात. त्यासाठी नव्या व अतिशय शक्तिमान प्रवेग-कांची (ॲक्सिलरेटरांची) गरज निर्माण झाली. त्यांची उभारणी झाली आणि युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासात एक नवे पर्व उजाडले. एक लक्षात घेण्याजोगी वस्तुस्थिती अशी की आता आपण जेव्हा शोधांची चर्चा करू तेव्हा पूर्वीच्या चर्चेच्या वेळी शोध शब्दाचा जो अर्थ आपणास अभिप्रेत होता त्यापेक्षा काहीसा वेगळा अर्थ लक्षात घ्यावा लागेल.

मूलद्रव्य-१०२

हे अगदी खरे आहे की मूलद्रव्य क्रमांक १०२ ला अद्यापीही कोणतेच नाव दिले गेलेले नाही. मूलद्रव्यांच्या अगदी वर्तमान कोष्टकात १०२ क्रमां-काची जागा व्यापलेली नाही पण खुद्द त्या मूलद्रव्याचा उत्तमप्रकारे अभ्यास झाला असून ते कितीतरी आधीपासून ज्ञातही झालेले आहे.

कधी कधी काहींना शास्त्रीय वाङ्मयात नोबेलिअम व त्याचे No हे चिन्ह आढळेलही पण तसे होण्यास १९५७ मध्ये घडलेली एक प्रायोगिक चूक कारणीभूत आहे. त्यावेळी स्टॉकहोम (स्वीडन) येथील "नोबेल इन्स्टिटच्यूट ऑफ फिजिक्स" या संस्थेत शास्त्रज्ञांचा एक आंतरराष्ट्रीय गट संशोधन करत होता व त्यांनी युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संश्लेषणार्थ प्रथमच गुणित विद्युतभारित आयनांचा उपयोग केला. क्यूरिअम-२४४ चे लक्ष्य वापरून त्यावर कार्बन-१३ च्या आयनांचा भडिमार करण्यात आला. या प्रक्रियेतून निर्माण झालेल्या (तथाकथित) पदार्थात $^{253}102$ व $^{251}102$ हे प्रत्येकी १० मिनिटांचे अर्धायु असणारे समस्थानीय अस्तित्वात आले. मेंदेलेव्हिअमच्या सहाय्याने मिळालेल्या या यशामुळे (?) वरील गट प्रभावित झाला व त्यांनी आयनांची अदलाबदल अंतर्भूत असणाऱ्या रंगलेखन तंत्राचा वापर केला व वरवर पाहता त्याचे निष्कर्ष मूलद्रव्य १०२ चेही अस्तित्व दाखविणारे ठरले.

नव्या मूलद्रव्याचा (म्हणजे क्रमांक १०२ चा) दावा अगदी चुकीचा ठरला आणि प्रायोगिक निष्कर्षांना कोणताच पडताळा मिळाला नाही. त्यावेळी प्रचलित झालेला विनोद असा की नोबेलिअमपासून काय निष्पन्न झाले तर फक्त "No" (म्हणजे काहीही नाही).

१९५७ च्या हिवाळ्यात जी. फ्लेरोव या रशियन शास्त्रज्ञाच्या नेतृत्वाखाली काही शास्त्रज्ञांचा गट युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संश्लेषणक्षेत्रात उतरला. या क्षेत्रात केंद्रकीय प्रक्रियांसाठी सिद्ध असलेल्या "द जॉइंट इन्स्टिट्यूट फॉर न्यूक्लिअर रीसर्च" (दुबना, सोविएत संघ) या संस्थेचे स्थान मोठे अग्रेसर ठरले आहे. फ्लेरोव व त्यांच्या गटाने प्लूटोनिअमचे लक्ष्य वापरून त्यावर ऑक्सिजन आयनांचा भडिमार केला: $^{244}_{94}Pu + ^{16}_{8}O$. पण त्यातून मिळालेले निष्कर्ष मात्र वर्षापूर्वी स्टॉकहोमच्या शास्त्रज्ञांनी जे सांगितले होते त्यांच्याशी काही जुळणारे ठरले नाहीत. त्याचवेळी, ए. गिओर्सो या सीबोर्ग यांच्या अधिपत्याखालील बर्कली येथील गटाने मूलद्रव्य १०२ वरच काम चालविले. त्यांच्याही निष्कर्षांनी स्टॉकहोमचे निष्कर्ष खोटे पाडले पण दुबनाच्या निष्कर्षांशीही ते जुळते ठरले नाहीत.

अशा प्रकारे नोबेलिअम हळूहळू खरोखरीच No मध्ये विरघळले . या मूलद्रव्याच्या शोधाची तारीख निश्चित करणे फारच अशक्य आहे. फ्लेरोव यांचा गट मूलद्रव्य १०२ वर १९६३-६४ या काळात काम करत होता. त्यांनी या मूलद्रव्याचे अनेक समस्थानीय संश्लेषित केले व त्यांची अर्धायुही ठरविली. तसेच वस्तुमानांक नक्की केले. नव्या मूलद्रव्याचे हे खरेखुरे मूल्यमापन ठरते व दुबना-शास्त्रज्ञांनाच त्याच्या नामकरणाचा हक्क निश्चित प्राप्त होतो. त्यानुसार, "ज्योलिऑटिअम" असे नाव, जोलिऑट-क्यूरी यांच्या सन्मानार्थ ठेवले गेले, पण अमेरिकन शास्त्रज्ञांनी जरी दुबनाचे निष्कर्ष मान्य केले तरी या नावाशी मात्र ते सहमत झाले नाही.

मूलद्रव्य १०२ बाबत अग्रेसरत्व कोणाकडे या वादाने मतभेदाची लाट निर्माण झाली आणि पुढील युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या बाबतीत ती बरीच उग्र ठरली. आजतारखेपावेतो, मूलद्रव्य १०२ चे ९ समस्थानीय माहीत झाले असून त्यापैकी अत्यधिक काळ टिकणाऱ्या $^{259}102$ या समस्थानीयाचे अर्धायु सुमारे अर्धातास आहे.

मूलद्रव्य-१०३

या मूलद्रव्याच्या बाबतीतही आम्ही नाव देऊ शकत नाही. तसेच अखेरीस "निष्कर्ष" या प्रकरणात जी शोध-तारीख दिली आहे ती काही फार विश्वसनीय म्हणता येत नाही.

गिओर्सो व त्याच्या सहकाऱ्यांनी नव्या युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांचा शोध

घेण्याचे काम १९६१ च्या सुरुवातीच्या काळापासून सुरू केले. कॅलिफोर्निअमच्या लक्ष्यावर त्यांनी बोरॉन आयनांचा भडिमार केला. वरवर पाहता असे आढळले की त्यांना $^{257}103$ हा समस्थानीय (अर्धायु ८ सेकंदांचे) मिळाला. अर्थात, त्यांनी कोणतेच अनमान न करता या मूलद्रव्यास लॉरेंशिअम (Lw) हे नाव दिले व ते सायक्लोट्रॉनचे संशोधक इ. लॉरेन्स यांच्या आदरार्थ देण्यात आले. आवर्ती कोष्टकाच्या १०३ क्रमांकाच्या जागेत हे नाव बरेचदा आढळेल.

याच समस्थानीयाचे (म्हणजे $^{257}103$ चे) संश्लेषण दुबना इंस्टिटचूट या संस्थेत केले गेले आणि बर्कली गटाने जे गुणधर्म प्रस्थापित केले होते त्याच्यापेक्षा खूपच भिन्न असल्याचे निष्पन्न झाले. यामुळे बर्कली गटास आपला दृष्टिकोन बदलावा लागला. आणप १९६१ च्या हिवाळ्यात $^{257}103$ चे संश्लेषण करण्याऐवजी दुसऱ्याच कोणत्या तरी म्हणजे $^{258}103$ किंवा $^{259}103$ या समस्थानीयाचे संश्लेषण केले असे समजावे लागले.

पुढे दुबना गटाने जेव्हा $^{243}Am(^{18}O, 5n)^{256}103$ ही केंद्रकीय प्रक्रिया केली तेव्हा वरील गोंधळपूर्ण परिस्थिती स्पष्ट झाली. या प्रक्रियेतून वस्तुमानांक २५६ असणारे समस्थानीय अस्तित्वात आले व त्याची विविध परामूल्येही ठरविली गेली. बर्कली गटाने, $^{249}Cf(^{11}B, 4n)^{256}103$ या केंद्रकीय प्रक्रियेतून तयार होणाऱ्या पदार्थाचे जे गुणधर्म सांगितले होते त्यांच्याशी ते जुळणारे ठरले, पण त्यास तीन वर्षे जावी लागली. मूलद्रव्य १०३ च्या शोधाच्या तारखेबाबत जी शंका व्यक्त केली जाते ती यामुळेच. मूलद्रव्य क्र. १०३ चा नक्की शोध कुणी व केव्हा लावला याबाबत निश्चित असा निष्कर्ष कोणासच काढता आला नाही. मूलद्रव्य १०२ प्रमाणेच संशोधकांना मूलद्रव्य १०३ च्या काही अणूंसह काम करावे लागले. सुरुवातीस त्यांनी या समस्थानीयांचे वस्तुमानांक निश्चित केले व त्यांचे किरणोत्सारी गुणधर्म नक्की केले त्यानंतर त्यांचे रासायनिक स्वरूप निश्चित करण्याच्या पद्धती विकसित केल्या.

कुर्चाटोव्हिअम

या मूलद्रव्याचा शोध म्हणजे जी. फ्लेरोव यांच्या मार्गदर्शनाखाली केंद्रकीय संश्लेषण-क्षेत्रात काम करणाऱ्या सोविएत शास्त्रज्ञांची बहुधा महत्तम ठरावी अशीच कामगिरी म्हटली पाहिजे. सोविएत संघातील अणुसंशोधन-

विषयक कार्यक्रमाची धुरा ज्यांनी शिरावर घेतली त्या आय. कुर्चाटोव यांच्या सन्मानार्थ या मूलद्रव्यास कुर्चाटोव्हिअम असे नाव देण्यात आले.

पूर्वी १९५७ मध्ये, केंद्रकीय प्रक्रियांच्या प्रयोगशाळेतील शास्त्रज्ञांनी प्रथमत: मूलद्रव्य १०४ चे संश्लेषण करण्याचा प्रयत्न केला. त्यांनी प्लूटोनिअम-२४२ च्या लक्ष्यावर निऑन-२२ च्या प्रवेगित आयनांचा भडिमार केला : $^{244}Pu(^{22}Ne, 4n)^{260}104$

ही केंद्रकीय प्रक्रिया अगोदर वर्तविलीच होती. पण शास्त्रज्ञांना केवळ अचानक घडणाऱ्या विदलनाचेच निरीक्षण करावयास मिळाले व ते सुद्धा कमालीच्या अत्यल्प अर्धायूचे म्हणजे केवळ १४ मिलिसेकंदांचे!! त्यानंतर लगेच लक्षात आले की मूलद्रव्य १०४ तर त्यामध्ये मुळीसुद्धा अंतर्भूत झालेले नव्हते. वरील क्रियाशीलता पहावयास मिळाली ती सुपरिचित अशा अमेरिसिअम-२४२ मुळे. त्याचा वेग मात्र नियमबाह्य उच्च प्रकारचा होता आणि त्यातूनच एका नव्या भौतिक आविष्काराचा शोध लागला.

या प्रयोगातील मुख्य अडचण ही होती की कुर्चाटोव्हिअमच्या केंद्रकांचे एकेकटे केंद्रक तयार होण्याची घटना जाणून घेणे. त्यासाठी असे ठरले की त्यांचे जे आकस्मिक विदलन घडते ते जाणून घेतले पाहिजे. कारण, मूलद्रव्य १०४ च्या बाबतीत असे किरणोत्सारी रूपांतरण वरचढ ठरले होते. त्यासाठी काचेचा एक खास प्रकार (तीला युरेनिअम-१०४ असे नाव दिले गेले हे लक्षात घेतले पाहिजे) वापरला गेला. या काचेच्या सहाय्याने विदलनाचे खंड शोधणे शक्य झाले कारण या खंडांमुळे जरी लक्षात येणे अशक्य असले तरी काचेवर खड्डे पडत. या काचेवर रासायनिक उपचार केले असता सूक्ष्मदर्शकाखाली हे खड्डे ऊर्फ खुणा पाहणे शक्य असते. मात्र अशा परिस्थितीत किरणोत्सारी उत्सर्जनाच्या इतर खुणा दृग्गोचर होत नाहीत.

मूलद्रव्य १०४ च्या संश्लेषणाच्या कामास १९६४ मध्ये सुरुवात झाली. प्लूटोनिअमच्या लक्ष्यावर एकूण ४० तास निऑन आयनाचा भडिमार करण्यात आला. एका खास प्रकारच्या वाहक-पट्ट्यामार्फत संश्लेषित केंद्रक काचेच्या तक्त्यावर हलविले गेले. भडिमाराचे काम पूर्ण झाल्यावर या काचेवर रासायनिक प्रक्रिया केली गेली. काही तासांनंतर सूक्ष्मदर्शकामार्फत काचेची तपासणी करण्यात आली, तेव्हा तीवर सहा खुणा उमटलेल्या दिसल्या. काचेवरील त्यांच्या जागांवरून त्यांचे अर्धायु ठरविले गेले. ते ०.१ ते ०.५ सेकंदाच्या मर्यादेत असल्याचे निष्पन्न झाले किंवा सरासरीने

०.३ सेकंदांचे आढळले. त्यानंतर काही वर्षांनीच अधिक अर्धायूंचे कुर्चाटोव्हि-अमचे काही समस्थानीय निर्माण केले गेले (येथे "अधिक अर्धायु" हा शब्दप्रयोग वापरणे मुळीसुद्धा योग्य ठरणार नाही). त्यातील खरोखरीचा कुटुंबचालक $^{261}104$ या समस्थानीयास म्हणावे लागेल.

पण दुबना येथे कुर्चाटोव्हिअमचे रासायनिक गुणधर्म तपासले गेले ते वस्तुमानांक २६० व अर्धायु ०.३ सेकंद असणाऱ्या समस्थानियाचा वापर करून. एवढ्या नगण्य कालावधीमध्ये कोणत्याही स्वरूपाची रासायनिक माहिती घेता येईल यावर खरोखरीच विश्वास बसणार नाही. पण प्रत्यक्षात तसे केले खरे.

मूलद्रव्य १०४ च्या रासायनिक विश्लेषणात खालील पद्धत उपयोगात आणली गेली. प्रत्यावर्ती अणु लक्ष्यापासून वेगळे झाल्यानंतर नायट्रोजनच्या प्रवाहात सामील झाले. तेथे ते थांबविले गेले अथवा अडविण्यात आले व त्यांच्यावर क्लोरिनची प्रक्रिया केली गेली. क्लोरीनबरोबर तयार होणारी कुर्चाटोव्हिअमची संयुगे एका खास प्रकारच्या गाळणीतून आरपार जाऊ शकतात पण ॲक्टिनाइडांची क्लोरीन-संयुगे मात्र अडकून पडतात. जर कुर्चाटोव्हिअम हे ॲक्टिनाइट-प्रकारचे असते तर या गाळणीमध्ये शोषले गेले असते. पण एकंदर निष्कर्षांनुसार मूलद्रव्य १०४ हे हाफ्निअमच्या साधर्मी दिसते.

वैयक्तिक किंवा एकेकटया अणूंच्या रसायनिक गुणधर्मांचा पुढीलप्रमाणे अभ्यास केला जातो. मूलद्रव्य १०२ व १०३ च्या बाबतीत विश्लेषणार्थ या पद्धतीचा वापर केला गेला, पण त्यांच्या बाबतीत ही मूलद्रव्ये ॲक्टिनाइडवर्गी असल्याचे दाखविले गेले. ही पद्धत, "सायक्लोट्रॉनमधल्या बाष्पनशील अशा धात्विक क्लोराइडच्या शलाकेचे अग्रभागीय उष्मारंगलेखन" म्हणून ओळखली जाते. फ्लेरोव, आय्. झ्वारा या झेकोस्लोव्हाकियन शास्त्रज्ञांनी व त्यांच्या सहकाऱ्यांनी ती विकसित केली. अमेरिकन भौतिकशास्त्रज्ञांनी मूलद्रव्य १०४ च्या शोधावर हक्क सांगितला खरा पण त्यांचे आधारात्मक मुद्दे फार कमकुवत असल्यामुळे त्यांचा दावा टिकला नाही.

नील्सबोरिअम

तुलनात्मकदृष्टया मूलद्रव्य १०५ बद्दल फारच थोडे सांगता येईल. त्याचा जन्म दुबना येथे झाला व तारीख १९७० चा फेब्रुवारी महिना सांगता येईल. त्याची निर्मिती $^{243}Am(^{22}Ne, 4n)^{261}Ns$ या प्रक्रियेद्वारे करण्यात

आली. अचानक विदलन प्रवृत्ती लक्षात घेता त्याचे अर्धायु सुमारे २ सेकंद आहे. थोर डॅनिश भौतिकशास्त्रज्ञ नील्स बोर यांच्या सन्मानार्थ या मूलद्रव्याचे नील्सबोरिअम असे नामकरण केले गेले. कुर्चाटोव्हिअमचे रासायनिक स्वरूप ठरविण्यासाठी ज्या तंत्राचा वापर केला गेला त्यानुसारच नील्सबोरि**अम**चे ही रासायनिक स्वरूप निश्चित केले गेले. त्यातून असे दिसून आले की नील्सबोरिअम हे टॅंटॅलमसदृश आहे.

या शोधाबाबत अमेरिकन भौतिकशास्त्रज्ञांचा दावा कोणत्या प्रकारचा आहे? ते दिवस होते १९७० च्या एप्रिल महिन्यातले. त्यांनी $^{249}Cf(^{15}N,\ 4n)^{260}Ha$ ही केंद्रकीय प्रक्रिया घडवून आणली आणि त्यातून मिळालेल्या मूलद्रव्यास विदलन क्रिया शोधणाऱ्या ओ. हान याच्या सन्मानार्थ हानिअम हे नाव बहालही केले.

युरेनिअमोत्तर १०२ क्रमांकापेक्षा जास्त अशा मूलद्रव्यांसंबंधी होणारा वादविवाद, अग्रेसरत्वाचा दावा समजणे म्हणजेच त्यामागील भूमिका आग्रही राहणे हे पटणे काही अशक्य नाही. कारण प्रत्येक संश्लेषण म्हणजे विज्ञान-तंत्रज्ञानाच्या क्षेत्रातील एक अचाट कर्तबगारीच किंवा महत्कृत्य म्हणता येईल. अशा प्रकारच्या अत्यंत कठीण व गुंतागुंतीच्या कार्यात चुका वा अपूर्णता राहणे अटळ असते. याबाबतीत दीर्घकालीन स्वीकृत दृष्टिकोन असा की नव्या मूलद्रव्याच्या संश्लेषणकार्यात विश्वसनीयतेचा अतिशय काटेकोर निकष ठरविणे अतिशय महत्त्वाचे आहे. म्हणूनच दुसऱ्या शंभर संख्येत असणाऱ्या नव्या मूलद्रव्यांच्या शोधाबाबत शोध लावणे किंवा लागणे याबाबत जी कल्पना रूढ आहे ती इथूनतिथून पूर्णपणे बदलून जाते, नव्हे तिला अर्थच वेगळा प्राप्त होतो. हे प्रकर्षाने जाणवते कारण या मूलद्रव्यांचा आयुष्यकाल अत्यंत अल्पावधीचा असतो. आवर्ती कोष्टकात त्यांचे चिन्ह पहावयास मिळते खरे पण त्यास द्रव्यरूप कायमस्वरूप नसते. असेच म्हणणे भाग आहे. वजना-मापात मोजणे शक्य व्हावे एवढ्या परिमाणात ती साचणे कदापीही शक्य नसते, केवळ एकाकी अणूच्या स्वरूपात आढळून येतात. दर वेळेस, जेव्हा जेव्हा त्यांचे गुणधर्म तपासणे किंवा अभ्यासिणे जरूरी पडते तेव्हा तेव्हा त्यांची नव्याने निर्मिती करावी लागते, ते संश्लेषित करावे लागतात. या क्षेत्रात जर काही केले जात असेल तर त्यांच्या निर्मितीचे केवळ निरीक्षण (व तेसुद्धा दिलेल्या केंद्रकापुरतेच, योग्य व अनुकूल परिस्थितीतच शक्य असते). नव्या मूलद्रव्याच्या शोधाचा रूढार्थाने विचारच नसतो.

मूलद्रव्ये-१०६ व १०७

या मूलद्रव्यांच्या नामकरणाचा किंवा त्यांचे रासायनिक स्वरूप ठरविण्याचा कुणी प्रयत्न केलेला नाही. त्यांचे अर्धायु एक-शंभरांश, नव्हे एक-हजारांश सेकंदामध्ये मोजावे लागतात. तरीसुद्धा त्यापेक्षा त्यांचे अधिक काळ अर्धायु असणारे समस्थानीय तयार करण्याची आशा शास्त्रज्ञ बाळगून आहेत. या मूलद्रव्यांच्या संश्लेषणकामी वापरल्या जाणाऱ्या पद्धतींची नवी वैशिष्ट्ये दृगोचर झाली आहेतच. युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या पूर्वीच्या संश्लेषणकामी वापरली जाणारी लक्ष्ये कमीअधिक प्रमाणात किरणोत्सारी असत. पण मूलद्रव्य १०६ व १०७ च्या संश्लेषणकामी दुबना भौतिकशास्त्रज्ञांनी प्रथमच स्थिरस्वरूपी मूलद्रव्ये (शिसे व बिस्मथ) उपयोजिली व त्यावर प्रवेगित अशा क्रोमिअम आयनांचा भडिमार केला. यामुळे पुढील प्रक्रिया घडून आल्या: ${}^{207}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{54}_{24}\mathrm{Cr} \longrightarrow {}^{259}106 + 2n$, ${}^{209}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{54}_{24}\mathrm{Cr} \longrightarrow {}^{261}107 + 2n$

यापैकी पहिली प्रक्रिया १९७४ मध्ये व दुसरी प्रक्रिया १९७६ मध्ये करण्यात आली.

पुढे काय?

त्या वेळी, काहीशा पूर्वीच्या काळी जेव्हा पहिले युरेनिअमोत्तर, म्हणजे नेपच्यूनिअम यशस्वीरित्या संश्लेषित केले गेले तेव्हा शास्त्रज्ञ या बाबतीत पूर्णपणे अंधारात होते की युरेनिअमच्या पलिकडे आणखी किती पाऊले टाकणे शक्य होईल. आजच्या काळातील शास्त्रज्ञांना व पुढच्या पिढीसही नव्या मूलद्रव्यांच्या संश्लेषणात्मक कार्याची मर्यादा कोणती हे सांगता येणार नाही.

मॅकमिलन, ॲबेलसान व त्यांच्या समकालीन सहकाऱ्यात आणि संशोधनकार्यात गुंतलेल्या आजच्या शास्त्रज्ञांमध्ये एक मूलभूत फरक पहावयास मिळतो. एखाद्या समस्येवर निश्चित उत्तर शोधण्यास पूर्वीच्या लोकांना फारच थोडी माहिती होती तर नंतरच्या लोकांना खूपच आहे (हे म्हणणे मोठे विरोधाभासात्मक वाटेल). युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या चाळीस वर्षांच्या इतिहासात अशा वेळा जरूर आल्या की ही मर्यादा अगदी दृष्टीपथात आली आहे. पण वाढत्या अणुअंकांच्या केंद्रकांचे संश्लेषण आणि त्यानुसार कमी-कमी, म्हणजे लक्षावधी वर्षांपासून ते काही तास, काही मिनिटे अथवा काही सेकंदे, नव्हे सेकंदाच्या अल्पशा अंशाएवढी अर्धायु काल नोंदणी होऊ लागली. साध्या हिशेबातून दिसते की अणुअंक १०८-११० बरोबर

होतेवेळी केंद्रक एवढा अल्पजीवी ठरतो की ज्या क्षणी ते अस्तित्वात येतात त्याच क्षणी ते ऱ्हासही पावतात !

काही काळ शास्त्रज्ञांच्या वर्तुळात असा समज पसरला की आवर्ती कोष्टकास आता पूर्णविराम मिळाला. पण दुसऱ्या शंभरीच्या घरातील मूलद्रव्यांच्या समस्थानियांचे संश्लेषणाचे वृत्तांत जो जो लोकांपुढे येऊ लागले तो तो संशोधनात गुंतलेल्या शास्त्रज्ञांचा समज पक्का होऊ लागला की मूलद्रव्यांची सैद्धांतिक भाकिते वर्तविण्याचा प्रकार काही तितकासा निर्दोष नाही. हे खरे की त्यांचे समस्थानीय अल्पजीवी असतात, पण आवर्ती कोष्टकाद्वारे व सिद्धांताद्वारे जेवढे अल्पजीवी वर्तविले गेले तेवढे काही नाही. उदाहरणार्थ, मूलद्रव्य १०७ च्या समस्थानीयाचे – ज्याचा वस्तुमानांक २६१ असतो – ०.००२ सेकंद अर्धायु असून ते अत्यल्पकालाचे आहे हे खरे पण वाढत्या अणुअंकावर सैद्धांतिकदृष्टया जे अर्धायु वर्तविण्यात आले होते त्याच्या लाखो पटींनी अधिक असल्याचे निष्पन्न झाले आहे. खरे तर असे दिसते की वाढत्या अणुअंकानुसार केंद्रकीय अस्थिरतेची प्रवृत्ती बहुधा प्रतिबंधित केली जात असावी.

या विस्मयजनक आणि केव्हाच विस्मृतीआड गेलेल्या भाकिताची आठवण पुढे सहाव्या दशकाच्या मध्यास जेव्हा "स्थैर्यतेची बेटे" (किंवा सापेक्ष स्थैर्यता असे म्हणणे जास्त बरोबर ठरेल) ही कल्पना सैद्धांतिक शास्त्रज्ञांच्या मनात उद्‌भवली तेव्हा झाली. आकडेमोडीवरून असे दिसते की असे पहिले बेट ११४ या अणुसंख्येनजिक दिसते. पण सैद्धांतिक शास्त्रज्ञ त्यांच्याही पुढे गेले आणि त्यांना अणुसंख्या १२६, १६४ एवढेच काय पण अणुसंख्या १८४ पाशीसुद्धा त्याची (अशा स्थैर्यतेच्या बेटाची) दाट शक्यता दिसली.

हे पुस्तक मूलद्रव्यांच्या इतिहासावर लिहिले असल्यामुळे वरील विचार कितपत यथार्थ आहेत याच्या चर्चेत आपण शिरणार नाही. या विचारांनुसार एवढे सांगता येईल, अशा बेटांवर असणाऱ्या केंद्रकांची स्थैर्यता, अचानक विदलनाच्या सापेक्ष अत्यंत दीर्घकालीन असेल व म्हणूनच त्यांचे संश्लेषण ही एक परिकथा राहणार नाही. हा अत्यंत धाडसी व मोठा मनोहारी सिद्धांत तेव्हाच पडताळला जाईल जेव्हा अशा एखाद्या स्थैर्यतेच्या बेटावरील मूलद्रव्याचे संश्लेषण केले जाईल. १९६७ पासून पुन:पुन्हा या दिशेने प्रयत्न केले गेले खरे पण ते सारे अयशस्वीच ठरले आहेत.

पण असे असूनसुद्धा मूलद्रव्यांच्या संशोधनात्मक इतिहासाची नवी पाने जरूर लिहिली जातील असा काहींना विश्वास वाटतो खरा !

समारोप

आवर्ती पद्धतीतील १०७ मूलद्रव्यांच्या इतिहासाच्या अखेरीस आपण पोहोचलो आहोत. प्रत्येक मूलद्रव्याचे भवितव्य कसकसे आणि कशा वेगवेगळया प्रकारे घडले याचे आपण अवलोकन केले. विविध देशातील अनेक शास्त्रज्ञांनी ही मूलद्रव्ये निसर्गात शोधण्यासाठी अथवा कृत्रिमरित्या संश्लेषित करण्यासाठी अपार कष्ट आणि वेळ खर्ची घातला. मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील सर्व वस्तुस्थिती आणि घटनात्मक माहिती जाणून घेतल्यावर काही बोधप्रद निष्कर्ष काढता येतील व ते पाहणे मोठे मनोरंजकही ठरेल.

सोबतच्या कोष्टक क्रमांक ४ मध्ये प्राचीन व मध्ययुगीन काळात माहीत असणाऱ्या इतर सर्व मूलद्रव्यांच्या शोधाचे वर्ष व त्यांचे शोधक यांची माहिती संकलीत केलेली पहावयास मिळेल. स्थायी मूलद्रव्यांच्या शोधात सुमारे ५० शास्त्रज्ञ तर नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांच्या शोधात ९ शास्त्रज्ञ गुंतले होते (किरणोत्सारी कुटुंबातील रेडिओमूलद्रव्यांच्या प्रत्यक्ष शोधात सुमारे २५ शास्त्रज्ञांनी भाग घेतलेला आढळतो).

संश्लेषित मूलद्रव्यांच्या शोधात जास्तच म्हणजे ३० हून अधिक शास्त्रज्ञांनी भाग घेतलेला आहे. यात आश्चर्य वाटू नये. कारण पुढे पुढे संशोधनकार्य सांघिक स्वरूपाचे झाले. युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या, विशेषत: ज्या मूलद्रव्यांचे अणुअंक (Z) अधिक आहे अशा मूलद्रव्यांच्या शोधात प्रायोगिक काम करणाऱ्या अनेक तंत्रज्ञांनी व सैद्धांतिकांनी (त्यामध्ये भौतिकशास्त्रज्ञ आणि रसायनशास्त्रज्ञही आहेतच) विशेष स्वारस्य दाखविले. उदाहरणार्थ, मूलद्रव्य क्र. १०६ च्या संश्लेषणात्मक अहवालावर दुबना येथील ११ शास्त्रज्ञांच्या स्वाक्षऱ्या पहावयास मिळतील. त्यापैकी प्रत्येकाने संशोधनास मौलिक हातभार लावलेला आहे.

थोडक्यात, आज माहीत असणाऱ्या आवर्ती कोष्टकातील रिकाम्या जागा भरण्याच्या कामी सुमारे १०० शास्त्रज्ञांनी भाग घेतला असे म्हणावयास काहीच हरकत नसावी.

कोष्टक ४ थे : मूलद्रव्यांचे शोध

मूलद्रव्य	वर्ष	शोधक
हायड्रोजन	१७६६	एच. कॅव्हेंडिश
हेलिअम	१८६८	एन. लॉकिअर, जे. जॅनसीन
लिथिअम	१८१७	आय. आर्फवेडसन
बेरिलिअम	१७९८	एल. व्हेक्वेलीन
बोरॉन	१८०८	जे. गेल्युसॅक, एल. थेनार्ड
कार्बन		पुरातन काळापासून माहीत
नायट्रोजन	१७७२	डी. रुदरफोर्ड
ऑक्सिजन	१७७४	जे. प्रीस्टले, सी. शिल
फ्लुओरीन	१७७१	सी. शिल
निऑन	१८९८	डब्ल्यू. रॅम्से, एम. ट्रॅव्हर्स
सोडिअम	१८०७	एच. डेव्ही
मॅग्नेशिअम	१८०८	एच. डेव्ही
ॲल्युमिनिअम	१८२५	एच. ओरस्टेड
सिलिकॉन	१८२३	जे. बर्झेलिअस
फॉस्फरस	१६६९	एच. ब्रँट
सल्फर		पुरातन काळापासून माहीत
क्लोरीन	१७७४	सी. शिल
आरगॉन	१८९४	डब्ल्यू. रॅम्से, डब्ल्यू. रॅले
पोटॅशिअम	१८०७	एच. डेव्ही
कॅलशिअम	१८०८	एच. डेव्ही
स्कॅंडिअम	१८७९	एल. नीलसन
टिटॅनिअम	१७९५	एम. क्लॅपरॉथ
व्हॅनॅडिअम	१८३०	ए. सर्फस्ट्रॉम
क्रोमिअम	१७९७	एल. व्हॅक्वेलीन
मँगेनीज	१७७४	सी. शिल
आयर्न		पुरातन काळापासून माहीत
कोबाल्ट	१७३५	डब्ल्यू. ब्रँट
निकेल	१७५१	ए. क्रॉनस्टेट
कॉपर		पुरातन काळापासून माहीत
झिंक		मध्ययुगीन काळात मिळाले
गॅलिअम	१८७५	पी. लेकॉक द बॉइसबॉड्रन

मूलद्रव्य	वर्ष	शोधक
जर्मेनिअम	१८८६	सी. विंकलर
आर्सेनिक		मध्ययुगीन काळात मिळाले
सेलेनिअम	१८१७	जे. बर्झेलिअस
ब्रोमीन	१८२६	ए. बॅलार
क्रिप्टॉन	१८९८	डब्ल्यू. रॅम्से, एम. ट्रॅव्हर्स
रुबिडिअम	१८६१	आर बुनसेन, जी. किरचॉफ
स्ट्राँशिअम	१७९०	ए. क्रॉफर्ड
इट्रिअम	१७९४	जे. गॅडोलिन
झिर्कोनिअम	१७८९	एम. क्लॅपरॉथ
निओबिअम	१८०१	सी. हॅचेट
मॉलिब्डेनम	१७७८	सी. शिल
टेक्निशिअम	१९३७	सी. पेरिअर, इ. सेग्रे
रुदेनिअम	१८४४	के. के. क्लाऊस
ऱ्होडिअम	१८०४	व्ही. वोलास्टन
पॅलॅडिअम	१८०३	व्ही. वोलास्टन
सिल्वर		पुरातन काळापासून माहीत
कॅडमिअम	१८१७	के. श्ट्रोमायर
इंडिअम	१८६३	राफ. रेईख
टिन		पुरातन काळापासून माहीत
अँटिमनी		मध्ययुगीन काळात मिळाले
टेल्युरिअम	१७८२	एफ. म्यूलर व्हॉन रिकेनस्ताइन
आयोडीन	१८११	बी. कोर्टिअस
झेनॉन	१८९८	डब्ल्यू. रॅम्से, एम्. ट्रॅव्हर्स
सिशीअम	१८६१	आर. बुनसेन, जी. किरचॉफ
बेरिअम	१७७४	सी. शिल, ओ. हान
लँथनम	१८३९	सी. मोसँडरॉथ
सेरिअम	१८०३	जे. बर्झेलिअस, डब्ल्यू. हिसींजर, एम. क्लॅपर
प्रॅसिओडिमिअम	१८८५	सी. ऑर व्हॉन वेल्सबॅक
निओडिमिअम	१८८५	सी. ऑर व्हॉन वेल्सबॅक
प्रोमेथिअम	१९४५	जे. मॅरीन्स्की, एल. ग्लेंडेनिन, सी. कॉरिएल
सॅमॅरिअम	१८७९	पी. लेकॉक द बॉइसबॉड्रन

मूलद्रव्य	वर्ष	शोधक
युरोपिअम	१९०१	इ. डेमार्क
गॅडोलिनिअम	१८८६	पी. लेकॉक द बॉइसबॉड्रन
टर्बिअम	१८४३	सी. मोसँडर
डिसप्रोसिअम	१८८६	पी. लेकॉक द बॉइसबॉड्रन
होलमिअम	१८७९	पी. क्लेव
अर्बिअम	१८४३	सी. मोसँडार
थुलिअम	१८७९	पी. क्लेव
इटरबिअम	१८७८	सी. मॅरिग्नॅक
ल्यूटेशिअम	१९०७	जे. अर्बेन
हाफ्निअम	१९२३	जे. हेवसी, डी. कॉस्टर.
टँटलम	१८०२	ए. एकबर्ग
टंगस्टन	१७८१	सी. शिल
ऱ्हेनिअम	१९२५	डब्ल्यू. बोडॅक, आय. टॅक, ओ. बर्ग
ओस्मिअम	१८०४	एस. टेनँट
इरिडिअम	१८०४	एस. टेनँट
प्लॅटिनम	१७४८	?
गोल्ड		पुरातन काळापासून माहीत
मर्क्यूरी		पुरातन काळापासून माहीत.
थॅलिअम	१८६१	डब्ल्यू. क्रूक्स
लेड		पुरातन काळापासून माहीत.
बिस्मथ		मध्ययुगीन काळात मिळाले.
पोलोनिअम	१८९८	पी. क्यूरी, एम. क्यूरी
ॲस्टाटाइन	१९४०	डी. कॉर्सन, के. मॅकेंझी, इ. सेग्रे
रेडॉन	१८९९	इ. रुदरफोर्ड, आर. ओवेन्स
फ्रँसिअम	१९३९	एम. पेरे
रेडिअम	१८९८	एम. क्यूरी, पी. क्यूरी
ॲक्टिनिअम	१८९९	ए. डेबिअर्न
थोरिअम	१८२८	जे. बर्झेलिअस
प्रोटॅक्टिनिअम	१९१८	ओ. हान, एल. मिटनर, एफ. सॉडी, ए. क्रॅन्स्टन
युरेनिअम	१७८९	एम. क्लॅपरॉथ
नेप्च्यूनिअम	१९४०	इ. मॅकमिलन, पी. ॲबेलख
प्लुटोनिअम	१९४०	जी. सीबोर्ग आणि इतर

मूलद्रव्य	वर्ष	शोधक
अमेरिसिअम	१९४५	जी. सीबर्ग आणि इतर
क्यूरीअम	१९४४	जी. सीबर्ग आणि इतर
बर्कलिअम	१९५०	जी. सीबर्ग आणि इतर
कॅलिफोर्निअम	१९५०	जी. सीबर्ग
आइन्स्टेनिअम	१९५२	ए. गीओर्सो, जी. सीबर्ग
फर्मिअम	१९५२	ए. गीओर्सो, जी. सीबर्ग
मेंडेलिव्हिअम	१९५५	जी. सीबर्ग
१०२	१९६३-६६	जी. फ्लेरोव आणि इतर
नील्सबोरिअम	१९७०	जी. फ्लेरोव आणि इतर
१०६	१९७४	यू. अग्नेसियान आणि इतर
१०७	१९७६	यू. अग्नेसियान आणि इतर
लॉरेंशिअम	१९५२	ए. गीओर्सा आणि इतर
कुर्चाटोव्हिअम	१९६४	जी. फ्लेरोव आणि इतर

यापैकी काही शास्त्रज्ञ तर अगदी विक्रमवीर ठरले. जर आपण निसर्गात सापडलेल्या मूलद्रव्यांकडे परत वळलो तर दिसून येईल की सहा मूलद्रव्ये शोधणाऱ्या सी. शील या स्विडिश रसायनशास्त्रज्ञाने तर येथे उच्चांक गाठलेला आहे. त्यांनी फ्ल्युओरिन, क्लोरीन, मँगॅनीज, मॉलिब्डेनम, बेरिअम व टंगस्टन अशा सहा मूलद्रव्यांचा शोध लावला. याखेरीज, प्रिस्ट्ले यांच्यासह संशोधन करून त्यांनी ऑक्सिजनचाही शोध लावला.

नवीन मूलद्रव्याच्या शोधाचे रौप्यपदक मिळण्याचा मान डब्ल्यु. रॅम्से यांनाच दिला पाहिजे. आपल्या सहकाऱ्यांच्या मदतीने अर्‌गॉन (रॅलेसह), हेलिअम (क्रुक्ससह) क्रिप्टॉन, निऑन व झेनॉन (ट्रॅव्हर्ससह) या मूलद्रव्यांचा त्यांनी शोध लावला. पुढील दोघा शास्त्रज्ञांनी प्रत्येकी चार मूलद्रव्यांचा शोध लावला – जे. बर्झेलिअस (सेरिअम, सेलेनिअम, सिलिकॉन आणि थोरिअम); एच डेव्ही (पोटॅशिअम, कॅल्शिअम, सोडिअम व मॅग्नेशिअम) आणि पी. लीकॉक द बॉइसबॉड्रन (गॅलिअम, समारिअम, गॅडोलिनिअम व डिस्प्रोसिअम). खालील शास्त्रज्ञानी प्रत्येकी तीन मूलद्रव्यांचा शोध लावलेला आहे – एम. क्लॅपरॉथ (टिटॅनिअम, झिर्कोनिअम व युरेनिअम) आणि सी. मोसँडर (लँथॅनम, टर्बिअम व अर्बिअम).

शेवटी असे सांगता येईल की अनेक शास्त्रज्ञांनी प्रत्येकी दोनदोन मूलद्रव्ये शोधली आहेत : एल. व्हॅक्वेलिन (बेरिलिअम व क्रोमिअम); डब्ल्यू. वोलॅस्टन (ऱ्होडिअम व पॅलॅडिअम); आर. बुन्सेन व जी. किर्चॉफ (रूबिडिअम व सिशीअम); सी. आएर फॉन वेल्सबॅक (प्रेसिओडिअम व निओडिमिअम); पी. क्लीव्ह (हेल्मिअम व थुलिअम) आणि एस. टेनंट (ओस्मिअम व इरिडिअम). हे वर्णनात्मक विवरण तसे आदर्शवंत म्हणता येईल आपण जेव्हा वैयक्तिक मूलद्रव्यांच्या शोधांची चर्चा केली तेव्हा अनेकदा अशी परिस्थिती पाहण्यात आलीच होती की शोधकाचे निश्चित नामनिर्देश करणे शक्य झाले नाही.

नैसर्गिक किरणोत्सारी मूलद्रव्यांचा विचार करता त्या क्षेत्रातील विक्रमपूर्ण कार्याचा मान क्यूरी दांपत्याकडे निश्चित जातो. त्यांनी युरेनिअम खनिजप्रकारांपासून पोलोनिअम व रेडिअम अलग केले. जी. सीबोर्ग यांनी एकूण आठ युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांच्या संशोधनकार्यात भाग घेतला (प्लुटोनिअम ते मेंदेलेव्हिअम) जी. फ्लेरोव व त्यांच्या दुबनायेथील बऱ्याच मोठ्या गटाने मूलद्रव्य क्र. १०२ पासून १०७ पर्यंतच्या संशोधनकार्यात निर्णायक भूमिका बजावली.

यानंतर निरनिराळ्या देशांनुसार जे शोध लागले त्याचा आढावा घेऊ या.

सर्वात मोठ्या संख्येत म्हणजे एकूण २३ मूलद्रव्ये एकटया स्विडनमधल्या शास्त्रज्ञांनी म्हणजेच स्विडिश शास्त्रज्ञांनी शोधली. ती कालक्रमानुसार याप्रमाणे आहेत : कोबाल्ट (१७३५), निकेल (१७५१), फ्ल्युओरीन (१७७१), क्लोरीन (१७७४), मँगॅनीज (१७७४), बेरिअम (१७७४), मॉलिब्डेनम (१७७८), टंगस्टन (१७८१), वायट्रिअम (१७९४), टँटॅलम (१८०२), सेरिअम (१८०३), लिथिअम (१८१७), सेलेनिअम (१८१७), सिलिकॉन (१८२३), थोरिअम (१८२८), व्हॅनॅडिअम (१८३०), लँथानम (१८३९), टर्बिअम (१८४३), एर्बिअम (१८४३), स्कँडिअम (१८७९), होल्मिअम (१८७९) आणि थुलिअम (१८७९). या यादीत अनेक दुर्मिळ व मृद्वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्ये दिसतील, त्याचे आश्चर्य वाटू नये. १८ व्या शतकातील स्वीडनमध्ये धातुशास्त्रात वाखाणण्याजोगी प्रगती झाली व नव्या लोहखनिजांच्या साठ्यांची फार आवश्यकता होती. ज्या शास्त्रज्ञांनी त्यांच्या शोधाचे काम केले त्यांनी त्याबरोबरच किंवा स्वतंत्रपणे नव्यानव्या खनिजांचा शोध घेतला व त्यामध्ये त्यांना अज्ञात मूलद्रव्ये आढळली. शिवाय, निरनि-

राळ्या खनिजांच्या विश्लेषणकार्यात स्विडिश रसायनज्ञांनी फार व्यापक अनुभवही संपादिला. याप्रमाणे व्यावहारिक गरजेपोटी स्वीडन देशातील शास्त्रज्ञांनी मोठ्या संख्येतील मूलद्रव्यांचा शोध लावला.

देशांनुसारच्या या वर्गीकरणात स्वीडननंतर दुसरा क्रम लागतो तो ब्रिटनचा. ब्रिटिश शास्त्रज्ञांनी एकूण २० मूलद्रव्यांचे शोध लावले. ते असे: हायड्रोजन (१७६६), नायट्रोजन (१७७२), ऑक्सिजन (१७७४), स्ट्राँशिअम (१७८७), निओबिअम (१८०१), पॅलॅडिअम (१८०३), ऱ्होडिअम (१८०४), ओस्मिअम (१८०४), इरिडिअम (१८०४), सोडिअम (१८०७), मॅग्नेशिअम (१८०८), कॅल्शिअम (१८०८), थॅलिअम (१८६१), अर्गॉन (१८९४), हेलिअम (१८९५), निऑन (१८९८), क्रिप्टॉन (१८९८), झेनॉन (१८९८), रेडॉन (१९००). ब्रिटिश रसायनज्ञांच्या कार्यातून संशोधनात्मक कार्यातील एकूण सुस्थापित मनोभूमिका आणि मूलद्रव्यांचे शोध यातील संबंध उत्तमप्रकारे स्पष्ट होतात. वायुवीय रसायनशास्त्राची जन्मभूमी म्हणून ख्याती पावलेल्या ब्रिटनमध्ये "निरनिराळ्या प्रकारचे वायु" किंवा "हवा" यांचे शोध लागले व नंतर ते सारे वातावरणाचे घटक असल्याचे – विशेषतः हायड्रोजन, नायट्रोजन व ऑक्सिजन हे मूलद्रव्यात्मक घटक – असल्याचे सिद्ध झाले. त्यानंतर १०० वर्षांनी याच अनुकूल वातावरणामुळे निष्क्रिय वायूंचे तेथे शोध लावले गेले. (येथे डब्ल्यू. रॅम्से या एकुलत्या एक शास्त्रज्ञाने अत्यंत वैशिष्ट्यपूर्ण कामगिरी केली). १९ व्या शतकाच्या सुरुवातीस या देशात विद्युत्‌रसायनशास्त्राने मोठी नेत्रदीपक प्रगती साधली आणि त्यामुळे मुक्तावस्थेतील (म्हणजे कशाशीच संयोगित न पावलेल्या अशा) सोडिअम, पोटॅशिअम, मॅग्नेशिअम व कॅल्शिअम यांची निर्मिती करणे हंफ्रे डेव्हीस शक्य झाले. प्लॅटिनमवर्गीय चार मूलद्रव्ये (धातु) शोधणे शक्य झाले ते ब्रिटनमधल्या अशुद्ध प्लॅटिनमच्या संशोधनामुळेच.

यानंतर तिसरा क्रमांक लागतो तो फ्रान्स या देशाचा, जेथे १५ मूलद्रव्ये शोधण्यात आली. ती म्हणजे क्रोमिअम (१७९७), बेरिलिअम (१७९८), बोरॉन (१८०८), आयोडाइन (१८११), ब्रोमाइन (१८२६), गॅलिअम (१८७५), समारिअम (१८७९), गॅडोलिनिअम (१८८६), डिस्प्रोसिअम (१८८६), रेडिअम (१८९८), पोलोनिअम (१८९८), ॲक्टिनिअम (१८९९), युरेनिअम (१९०१), ल्युटेशिअम (१९०७), फ्रान्सिअम (१९३९).

किरणोत्सारी अशी पोलोनिअम, रेडिअम व ॲक्टिनिअम ही मूलद्रव्ये फ्रेंच शास्त्रज्ञांनी शोधून काढली यात आश्चर्य वाटण्याजोगे काही नाही. या शोधांमागील मूलभूत महत्त्वाच्या किरणोत्सारी गुणधर्मांचे संशोधन फ्रान्स-मध्ये केले गेले. पी. लीकॉक द बॉइसबॉड्रन या बुद्धिमान वर्णपटीय विश्लेषकाने वर्णपटीय विश्लेषणातून चार नवी मूलद्रव्ये शोधून काढली : गॅलिअम व तीन मृद्वर्गीय दुर्मिळ अशी समारिअम, गॅडोलिनिअम व डिस्प्रोसिअम ही मूलद्रव्ये. क्रोमिअम व बेरिलिअम यांचा शोध एल्. व्हॅक्वेलिन यांनी लावला. व्हॅक्वेलिन एवढे पारंगत असे विश्लेषणात्मक रसायनज्ञ होते की त्यांनी निदान एका तरी मूलद्रव्याच्या शोधाची देणगी जगाला दिली नसती तर ते मोठे जगावर अन्यायकारक ठरले असते.

मूलद्रव्यांच्या संख्यात्मक संशोधनात यानंतर क्रम लागतो तो जर्मनीचा व जर्मन शास्त्रज्ञांनी १० मूलद्रव्ये शोधली. त्यात झिर्कोनिअम (१७८९), युरेनिअम (१७८९), टायटॅनिअम (१७९७), कॅडमिअम (१८१७), सिशीअम (१८६०), रूबिडिअम (१८६१), इंडिअम (१८६३), जर्मेनि-अम (१८८६), प्रोटॅक्टिनिअम (१९१८), ऱ्हेनिअम (१९२५) ही मूलद्रव्ये आहेत. या शोधांना पुढील तीन महत्त्वपूर्ण मुद्दे कारणीभूत ठरले. रसायनज्ञ एम. क्लॅप्रॉथ यांचे अत्यंत नेत्रदीपक असे विश्लेषणात्मक कौशल्य (Ti, Zr, व U) वर्णपटीय विश्लेषणातंत्राचा विकास (Cs, Rb व In) व अगदी व्यापक स्वरूपाच्या क्ष-किरणीय वर्णपटात्मक अभ्यास (Re).

ऑस्ट्रियादेशीय शास्त्रज्ञांनी तीन मूलद्रव्ये शोधून काढली, ती म्हणजे टेल्युरिअम (१७८२), प्रेसिओडिमिअम (१८८५) आणि निओडिमिअम (१८८५). डेन्मार्कदेशीय शास्त्रज्ञांनी ॲल्युमिनिअम (१८२५) तसेच हाफ्नि-अम (१९२३) या दोन मूलद्रव्यांचा शोध लावला. रूदेनिअम या एका मूलद्रव्याचा शोध रशियात १८४४ मध्ये लावण्यात आला. पण रशियन शास्त्रज्ञांनी नव्याने शोधण्यात आलेली अनेक मूलद्रव्ये नैसर्गिक खनिजांपासून अलग करण्यात यश मिळविले आहे. अनेक प्रकारच्या कारणांमुळे रशियन रसायनज्ञांनी जरी खूपशा मूलद्रव्यांचे शोध लावलेले नाहीत तरी कोणासही विसरून चालणार नाही की सुप्रसिद्ध आवर्ती पद्धती डी. मेंदेलेयेव या विख्यात रशियन रसायनज्ञाने विकसित केली असून त्याची ही कामगिरी चारदोन नवी मूलद्रव्ये शोधण्यापेक्षा कितीतरी महत्त्वपूर्ण आहे.

निसर्गातील मूलद्रव्यांचे शोध लागण्याचा विक्रम वरील चार देशांमध्ये –

ब्रिटन, फ्रान्स, जर्मनी व स्वीडन – प्रस्थापित झाला जेथे रसायनशास्त्राचा प्रचंड विकास साधला गेला. या देशाच्या शास्त्रज्ञांनी अनेक महत्त्वपूर्ण निष्कर्षांची देणगी या नव्या मूलद्रव्यांच्या शोधांच्या प्रसंगी दिलेली आहे.

संश्लेषण करून शोधलेल्या मूलद्रव्याचे शोध या पूर्वी चर्चिले गेलेच आहेत. येथे आपण एवढीच नोंद घेऊ या की अणुअंक १०२ ते १०७ या मूलद्रव्यांचे अत्यंत जटील व मोठ्या परिश्रमपूर्वक केले गेलेले संशोधन प्रथम अगदी विश्वसनीयरित्या सोविएत संघामध्ये झाले आहे.

आणखी एक मोठा कुतुहलपूर्ण विचार म्हणजे निरनिराळ्या ऐतिहासिक कालखंडात ज्या गतीने मूलद्रव्यांचे शोध लागत गेले तो होय. यासाठी सुरुवात करण्यास आपण १७५० हे वर्ष धरू या (ज्यावेळी रासायनिक विश्लेषणाच्या विकासास सुरुवात झाली) आणि शेवट म्हणून १९२५ हे वर्ष घेऊ या (जेव्हा शेवटचे स्थिरस्वरूपाचे ऱ्हेनिअम हे मूलद्रव्य शोधण्यात आले). प्रत्येक २५ वर्षांच्या एकेका कालखंडाची माहिती कोष्टक ५ मध्ये दिलेली आढळेल.

वरील कोष्टकावरून लक्षात येते की पंचवीस वर्षांच्या दोन कालावधींमध्ये सर्वात जास्त मूलद्रव्यांचा शोध लागला. १८०१ ते १८२५ या पहिल्या कालावधीत १८ मूलद्रव्यांचा शोध लागला. क्लॅपरॉथ, बर्झेलिअस आणि इतर प्रतिभावंत शास्त्रज्ञांच्या कार्यामुळे या कालावधीत विश्लेषणात्मक रसायनशास्त्राची झपाट्याने प्रगती झाली. विद्युत रासायनिक पद्धतींचा अवलंब करून अनेक अल्कधर्मी व आम्लारीधर्मी मृत्तिका धातूंचा शोध लागला. दुसऱ्या कालावधीत (१८७६ ते १९००) वर्णपट पद्धती, प्रारणमिती तसेच मृदवर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांच्या रसायनशास्त्रातील प्रगतीमुळे (या कालावधीत लागलेल्या १९ मूलद्रव्यांच्या चिन्हांवरून हे सहजच लक्षात येते) १९ मूलद्रव्यांचा शोध लागला. याउलट १८२५ ते १८७५ या पन्नास वर्षात फक्त बारा नवीन मूलद्रव्यांचा शोध लागला. याचे कारण म्हणजे उर्वरित मूलद्रव्यांच्या शोधाचे काम रासायनिक विश्लेषणाकडे होते, तर वर्णपटीय विश्लेषण अजूनही यौवनावस्थेत होते व त्याच्या कार्य क्षमतेची पूर्ण जाणीव व्हावयाची होती. विसाव्या शतकाच्या पहिल्या पंचवीस वर्षात फक्त पाच मूलद्रव्यांचा शोध लागला याचा अर्थ असा नाही की वैज्ञानिक क्षमता मर्यादित स्वरूपाची होती, पण नैसर्गिक स्वरूपात आढळणाऱ्या जवळजवळ सर्वच मूलद्रव्यांचा शोध त्यावेळी लागला होता.

कोष्टक ५ वे : १७५० ते १९२५ पर्यंत शोधलेल्या मूलद्रव्यांचा वेग

वर्षे.	शोधलेली मूलद्रव्ये	माहीत झालेल्या मूलद्रव्यांची संख्या
१७५० पूर्वी	१६ (C, P, S, Fe, Co, Cu, Zn, As, Ag, Sn, Sb, Pt, Au, Hg, Pb, Bi)	१६
१७५१-१७७५	८ (H, N, O, F, Cl, Mn, Ni, Ba)	२४
१७७६-१८००	१० (Be, Ti, Cr, Y, Zr, Mo, Te, W, U, Sr)	३४
१८०१-१८२५	१८ (Li, B, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Se, Nb, Rn, Pd, Cd, I, Ce, Ta, Os, Ir)	५२
१८२६-१८५०	७ (V, Br, Ru, La, Tb, Er, Th)	५९
१८५१-१८७५	५ (Rb, In, Cs, Tl, Ga)	६४
१८७६-१९००	१९ (He, Ne, Ar, Sc, Ge, Kr, Xe, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Ho, Tu, Yb, Po, Ra, Ac, Rn)	८३
१९०१-१९२५	५ (Eu, Lu, Hf, Re, Pa)	८८

वरील संपूर्ण विवेचनात एक उणीव आहे. या उणीवेमुळे विवेचनाचे मूल्य कमी होते. प्रस्तुत विवेचन कोष्टक क्र. ४ मध्ये दर्शविलेल्या शोधांच्या तारखांवर (अर्थात, माहीत असल्यास) आधारीत आहेत. परंतु या तारखा मूलद्रव्यांच्या इतिहासातील विविध घटनांची प्रतिबिंबे आहेत. म्हणजेच त्यांचे महत्त्व बहुउद्देशीय आहे.

काही उदाहरणांवरून हे सहज स्पष्ट करता येते—फ्ल्युओरीन, क्लोरीन आणि ब्रोमीनचा विचार करू. फ्ल्युओरीनच्या शोधाचे वर्ष १७७१ असल्याचे मानले जाते. सी. शिल या शास्त्रज्ञाने त्या वर्षी तयार केलेला पदार्थ हायड्रो-फ्ल्युओरिक आम्ल असल्याचे नंतर लक्षात आले. परंतु पंधरा वर्षानंतरच या आम्लामध्ये एक नवीन मूलद्रव्य असल्याचे लॅव्हॉसिएने सुचविले. त्यापूर्वी, आम्लामध्ये ऑक्सिजन असल्याची शंका व्यक्त करण्यात आली होती. १८१०

मध्ये डेव्ही आणि अँपिअर यांनी हायड्रोफ्ल्युओरिक आम्लात नवीन मूलद्रव्य – फ्ल्युओरीन – असल्याचे ठामपणे सांगितले. मुक्त स्थितीतील फ्ल्युओरीन १८८६ मध्ये तयार करण्यात आले. सर्वसाधारणपणे, वर उल्लेख केलेले प्रत्येक वर्ष, फ्ल्युओरीनच्या शोधाचे वर्ष मानण्यात काहीच गैर नाही. आपण काय शोधले आहे याचा पत्ता १७७१ मध्ये शिलला नव्हता. तरीसुद्धा १७७१ हेच वर्ष ग्राह्य धरले आहे.

शिलने क्लोरीनचा शोध सुद्धा फ्लॉजिस्टीन विरहीत म्यूरीक आम्लाच्या स्वरूपात लावला. या आम्लातून कोणते तरी हॅलोजन मूलद्रव्य बाहेर निघताना त्याने पाहिले होते. तरी एक साधा पदार्थ म्हणून त्याचा उल्लेख केला नव्हता. म्हणूनच, क्लोरीनच्या शोधाची तारीख (१७७४), फ्ल्युओरीनच्या शोधाच्या तारखेपेक्षा अधिक भक्कम आहे. क्लोरीनच्या इतिहासातील निर्णायक घटना म्हणजे १८१० मध्ये डेव्हीने या मूलद्रव्याचे मूलद्रव्यात्मक स्वरूप स्पष्ट केले. सोडिअम, पोटॅशिअम, मॅग्नेशिअम आणि कॅलशिअम या मूलद्रव्यांची संयुगे पूर्वीपासून माहीत असली तरी डेव्हीलाच या मूलद्रव्यांचा शोधक मानले जाते.

कोणत्याही प्रकारच्या वादविवादापासून मुक्त असे मूलद्रव्य म्हणजे आयोडीन. १८११ मध्ये साधा पदार्थ म्हणून त्याचा शोध लागला. अल्पकाळातच त्याचा अभ्यास होऊन हॅलोजनवर्गीय मूलद्रव्य म्हणून त्यास मान्यता मिळाली. या उदाहरणांवरून तुमच्या लक्षात येईल की संबंधित मूलद्रव्यांच्या शोधांच्या तीन तारखांना (१७७१, १७७४ आणि १८११) वेगवेगळे अर्थ प्राप्त झाले आहेत.

अतिशय भिन्न स्वरूपाच्या ब्रोमीन, इट्रिअम आणि हेलिअम या मूलद्रव्यांच्या शोधाचा विचार करू. कोष्टक क्र. ४ मध्ये त्यांच्या नावापुढे लिहिलेल्या तारखा काय दर्शवितात? ब्रोमीनच्या शोधाची तारीख (१८२६) म्हणजे या मूलद्रव्याच्या मुक्त स्वरूपातील शोधाची तारीख आहे. इट्रिअमच्या शोधाची तारीख (१७९४) म्हणजे या मूलद्रव्याचे ऑक्साइड संयुग तयार केल्याची तारीख आहे. गॅडोलिन येथील "इट्रिअम" वस्तुतः दुर्मिळ मृत्तिका मूलद्रव्यांचे मिश्रण असल्याचे चाळीस वर्षानंतर लक्षात आले. तुलनात्मकरित्या शुद्ध इट्रिअम ऑक्साइड मोसँडरने तयार केले. म्हणजेच, १७९४ मध्ये मूलद्रव्यांच्या मिश्रणाचा शोध लागला होता. हेलिअमच्या शोधाची तारीख (१८६८) तर मूलद्रव्यांच्या इतिहासात पूर्वी कधीही न घडलेल्या

घटनेची साक्ष आहे. पृथ्वीवरील पदार्थांच्या अभ्यासावरून नव्हे, तर सौर-शिखांच्या वर्णपटातील अज्ञात रेषेच्या आधारावर नवीन मूलद्रव्याच्या अस्तित्वाचा सुगावा लागला. हे मूलद्रव्य पृथ्वीवर सापडेपर्यंत (१८९५) त्याचे स्वरूप गृहित मूलद्रव्याप्रमाणेच होते.

वरील तीनही उदाहरणांमधील शोधांच्या तारखांना वेगळा अर्थ व पार्श्वभूमी आहे. अशा प्रकारची अनेक उदाहरणे देता येतील.

तर मग, मूलद्रव्यांच्या शोधांच्या तारखांमधील फरक कसा स्पष्ट करावयाचा? "रासायनिक मूलद्रव्यांचा शोध" या संज्ञेला स्पष्ट अर्थ नसून ही संज्ञा वेगवेगळ्या संदर्भात वापरण्यात येते.

रसायनशास्त्राचे प्रख्यात सोविएत इतिहासकार एन. फिगुरोवस्की यांनी मूलद्रव्याच्या शोधाची व्याख्या पुढीलप्रमाणे सांगितली आहे – "मूलद्रव्याचा शोध म्हणजे ते मूलद्रव्य फक्त तयार करणे (निष्कर्षित) असे नाही, तर रासायनिक अथवा भौतिक पद्धतींनी काही संयुगांमध्ये त्याचे अस्तित्व सिद्ध करणे होय. उघडच आहे की १८ व्या शतकाच्या उत्तरार्धापासून पुढील काळात शोधलेल्या मूलद्रव्यांबाबतच ही व्याख्या लागू पडते. त्या पूर्वीच्या काळात नवीन मूलद्रव्ये असलेल्या संयुगांच्या संरचनेचा अभ्यास करण्याकरता साधनेच उपलब्ध नव्हती." या व्याख्येच्या दुसऱ्या वाक्याशी आम्ही सहमत आहोत. परंतु पहिले वाक्य अमान्य आहे. साध्या पदार्थांच्या स्वरूपात नवीन मूलद्रव्य तयार करणे व संयुगांमधील त्याचे अस्तित्व सिद्ध करणे यातील फरक पहिल्या वाक्यात स्पष्ट केलेला नाही. या दोन्ही गोष्टी अत्यंत भिन्न असल्याचे वाचकांच्या लक्षात आले असेलच. साध्या पदार्थांच्या स्वरूपात मूलद्रव्य अलग करण्याच्या घटनेस इतिहासात फार महत्त्व आहे. कोणत्याही मूलद्रव्याचे संपूर्ण ज्ञान होण्यास ते मूलद्रव्य मुक्त स्थितीत उपलब्ध झाले पाहिजे, तरच शास्त्रज्ञांना त्या मूलद्रव्यांच्या सर्व रासायनिक (उदाहरणार्थ, विविध अभिकारकांबरोबर होणाऱ्या अभिक्रिया) व भौतिक गुणधर्मांचा अभ्यास करता येईल. मुक्त स्वरूपात मूलद्रव्य तयार करणे म्हणजे मूलद्रव्यांच्या शोधातील महत्त्वाचा टप्पा आहे तर संयुगांच्या स्वरूपात ते तयार करण्यास दुय्यम स्थान आहे.

मूलद्रव्यांच्या इतिहासावरून लक्षात येते की शोधाचा महत्त्वाचा टप्पा गाठणे नेहमीच शक्य झालेले नाही. मूलद्रव्याचा शोध लागला, म्हणजे ते मूलद्रव्य मुक्त स्थितीत तयार केले होते असे मुळीच नाही. अनेक ठिकाणी,

मूलद्रव्यांचा शोध ही एकच घटना नसून ती लांबवलेली क्रिया होती. कोष्टक क्र. ४ मध्ये मूलद्रव्याच्या शोधांची फक्त एकच तारीख (वर्ष) दिले आहे, म्हणजेच इतिहासाकडे दुर्लक्ष केले आहे. काही तारखा तर मूलद्रव्यांचे फक्त अप्रत्यक्ष अस्तित्व सूचित करतात. (जी मूलद्रव्ये सर्वप्रथम प्रारणमिती व वर्णपटीय पद्धतींनी शोधण्यात आली, परंतु त्यांचे निष्कर्षण मात्र झाले नव्हते).

ज्या पद्धतीने मूलद्रव्यांचा शोध लागला, त्यानुसार मूलद्रव्यांची दोन गटात विभागणी करता येईल – निसर्गात सापडलेली मूलद्रव्ये व संश्लेषित केलेली मूलद्रव्ये. जी मूलद्रव्ये, प्राचीन काळापासून अथवा मध्ययुगीन काळापासून माहीत आहेत, त्यांचा समावेश पहिल्या गटात करता येणार नाही.

पहिल्या गटामधील बहुसंख्य मूलद्रव्ये संयुगांच्या स्वरूपात सापडली (Li, Be, F, Sc, Ti, V, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Po, Fr, Ra, Ac, Pa, Th, U) या ३६ मूलद्रव्यांपैकी दहा मूलद्रव्यांचे (Rb, Sm, Eu, Dy, Ho, Tu, Yb, Lu, Hf, Re) अस्तित्व वर्णपटीय पद्धतींनी शोधण्यात आले. तर पाच मूलद्रव्ये (Po, Fr, Ra, Ac, Pa) प्रारणमिती पद्धतीने शोधण्यात आली. यापैकी काही मूलद्रव्ये सशर्त या गटात ठेवता येतील.

४० मूलद्रव्ये मुक्त स्वरूपात व पूर्वी कोणत्याही संयुगात ओळख पटल्याशिवाय मिळाली. (H, He, B, N, O, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, Ar, K, Ca, Cr, Mn, Co, Ni, Ga, Ge, Se, Br, Kr, Sr, Ru, Rh, Pd, Cd, In, Te, I, Xe, Cs, Ba, Os, Ir, Pt, Tl, Rn) यापैकी आठ मूलद्रव्यांचे अस्तित्व (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Cs, In, Tl) वर्णपटाने तर रेडॉनचे अस्तित्व प्रारणमिती पद्धतीमुळे सिद्ध झाले.

अशा रीतीने, मूलद्रव्यांचा इतिहास परिपूर्ण नाही. त्याकरता नवीन अभ्यास व जुन्या माहितीचे पुनर्मूल्यमापन करावे लागेल. त्यातून नवीन सत्य उघडकीस येईल. तसे झाल्यास, सध्या वादातीत वाटणारे विचार पुन्हा पडताळून पहावे लागतील. मूलद्रव्यांच्या इतिहासाचा प्राथमिक अभ्यास व सहज आकलन होईल असे मूल्यमापन जागतिक वाङमयात कोठेही आढळत नाही हे ऐकून आश्चर्य वाटेल.

या पुस्तकामध्ये मूलद्रव्यांचे सर्वसाधारण स्वरूप विशद केले आहे. शेवटी आपण मूलद्रव्यांच्या खोटया (चुकीच्या) शोधांबद्दल विचार करू. या खोटया शोधांचा इतिहासावर प्रत्यक्ष परिणाम झाला आहेच. मूलद्रव्यांच्या

इतिहासातील चुकांचा आढावा घेणारी सर्वसमावेशक यादी अजून कोणीही तयार केलेली नाही. कारण हे काम अनेक कारणांमुळे अतिशय अवघड आहे. इथे आम्ही चुकीच्या मूलद्रव्यांची सुमारे शंभर नावे (शोधकांची नावे व तारखांसह) देत आहोत. तसेच, या चुकांची संभाव्य कारणे सुद्धा सांगणार आहोत. यापैकी निम्या चुका मृद्‌वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांचा शोध लावताना झाल्या (या मूलद्रव्यांच्या अभ्यासात जवळजवळ दुप्पट चुका झाल्या असतील, पण बऱ्याच वेळा "शोधित" मूलद्रव्यांना नावे दिली नाहीत, परंतु त्यांचा उल्लेख फक्त ग्रीक अथवा लॅटिन वर्णाक्षरांनी केला होता). या खोटया मूलद्रव्यांची अद्याक्षरांनुसार नावे पुढीलप्रमाणे – ऑस्ट्रिअम (१८८६, लीनमन), बर्झेलिअम (१९०३, सी. बास्करव्हील), कॅरोलिनिअम (१९००, सी. बास्करव्हील), सेल्टिअम (१९११, जी. अर्बेन), कोलंबिअम (१८७९, जी. स्मिथ) डॅमॅरिअम (१८९६, के. लॉअर, पी अ‍ॅण्टस्क), डेसिपिअम (१८७८, एम. डेलफाँहेन), डेमोनिअम (१८९४, एच. रोलँड), डेबेबिअम (१९१६, जी. एडर), डोनॉरिअम (१८५१, सी. बर्गमन), डुबिअम (१९१६, जी. एडर), युरोसॅमॅरिअम (१९१७, जी. एडर) युक्सेनिअम मृत्तिका – I, II (१९०१, के. हॉफमन, डब्ल्यू. प्रांडल्ट), ग्लाकोडिनिअम (१८९७, के. क्रुश्चेव), इनकॉग्निटम आयोनिअम (१९०५, डब्ल्यू. क्रुक्स), जुलोनिअम (१८११, टी. थॉमसन), कोस्मिअम (१८९६, बी. कोसमन), लुसिअम (१८९६, पी. बॅरिअर), मॉस्टिअम (१८९२, एच. रीकमंड), मेटासेरिअम (१८९५, बी. ब्रॉनर), मोनिअम अथवा व्हिक्लोरिअम (१८९८, डब्ल्यू. क्रुक्स), मोसँड्रिअम (१८७७, जी. स्मिथ), निओकोस्मिअम (१८९६, बी. कोसमन), फिलिपिअम (१८७८, एम. डेलफान्टेन), रॉगेरिअम (१८७९, जी. स्मिथ), रुसिअम (१८८७, के. क्रुश्चेव), वेस्टिअम (१८१८, एल. गिलबर्ट), वॅसिअम (१८६२, जी. बेर), वेल्सिअम (१९२०, जी. एडर). खोटा शोध लागलेल्या इतर मृद्‌वर्गीय दुर्मिळ मूलद्रव्यांना नावे दिली नव्हती.

मूलद्रव्य क्र. ४३, ६१, ८५ व ८७ च्या शोधांशी अनेक खोटया मूलद्रव्यांचा शोध जोडण्यात आला आहे. विसाव्या शतकाच्या पहिल्या चार दशकात या मूलद्रव्यांचा शोध निसर्गात घेण्याचे प्रयत्न शास्त्रज्ञांनी केले. काही उदाहरणे याप्रमाणे – अलबामिअम (१९३१, एफ. अ‍ॅलिसन), अल्कॅलिनिअम (१९२६, एफ. लॉरिंग, जी. ड्रस), डॅसिनम (१९३७,

आर द सेपारेट), फ्लॉरेंशिअम (१९२६, एल. रोला, एल. फर्नांडिस), हेल्वेटिअम अथवा अँग्लोहेल्वेटिअम (१९४०, डब्ल्यू. मींडर, १९४२, ए. लेग-स्मिथ), इलिनिअम (१९२६, डी. हॅरिस), लॉम्टन (१९४३, पी. मार्टिन), मॅसुरिअम (१९२५, डब्ल्यू. नोड्क ,आय. टॅक, ओं. बर्ग), मोल्डेव्हिअम (१९३७, एच. हलुबे), निप्पोनिअम (१९०८, एम. ओगावा), रुसिअम (१९२५, डी. डोब्रोसर्डोव), व्हर्जिनिअम (१९३०, एफ. ॲलिसन). तिसऱ्या दशकाच्या मध्यास युरेनिअमोत्तर मूलद्रव्यांबाबत सुद्धा चुकीचे शोध लागले. (ॲसोबिअम, डेस्पेरिअम, बोहेमिअम, सेक्वॅनिअम).

जटील संरचना असलेल्या प्रामुख्याने कच्च्या प्लॅटिनम धातुकात आणि खनिजांच्या अभ्यासात खोटे शोध लागले. पुढील मूलद्रव्यांचा शोध चुकीचा ठरला – ॲमॅरिलिअम (१९०३, डब्ल्यू. कर्टिस), कॅनॅडिअम (१९११, ए. फेंच), डॅव्हिअम (१८७७, एस. कर्न), जोसेफिनिलिअम (१९०३, शोधक माहीत नाही), ऑर्डलिअम (१८७९, ए. गुअर्ड), प्लुरॅनिअम, पोलीनिअम आणि रुदेनिअम (१८२९, जी. ओसान), वेस्टिअम (१८०८, जे. स्नीअॅडेकी). प्लॅटिनस मूलद्रव्यांच्या नवीन शोधांचे नामकरण झाले नाही असे शोध, एफगेन्थ (१८५३), सी. कॅंडलर (१८६२) आणि टी. विल्म (१८८३) यांनी लावले. ही यादी मात्र अपूर्ण आहे.

कोलंबाइट आणि कोबाल्ट, झिर्कोनिअम आणि निकेल यांच्या खनिजांच्या अभ्यासात सुद्धा खोटे शोध लागले. जसे डिॲनिअम (१८६०, एफ. कोबेल) ग्लोमिअम (१८८९, जी. क्रुस, एफ. श्मिट), इडुनिअम (१८८४, एच. वेबस्की), इल्मेनिअम (१८४६, आर. हर्मन), जारगोनिअम (१८६९, एच. सॉर्बी), नेप्चुनिअम (१८५०, आर. हर्मन), निग्रिअम (१८६९, ए. चर्च), निकोलॅनम (१८०३, आय. रीश्टर), नॉर्वेजिअम (१८७९, टी. डाल), नोरिअम (१८४५, ए. स्वानबर्ग), ऑस्ट्रन (१८२५, ए. ब्रेटहॉप्ट), पेलोपिअम (१८४६, एच. रोस), व्हेस्टिअम अथवा सिरिअम (१८१८, एल. वॉनवेस्ट), व्होडॅनिअम (१८१८, व्ही. लॅंपॅडिअस).

खोटया शोधांचे हे चार मोठे गट आहेत. याव्यतिरिक्त योगायोगाने लागलेले एकाकी स्वरूपाचे खोटे शोध आहेतच. जसे – ऑस्ट्रिअम (१८८९, बी. ब्रॉनर), ॲक्टिनिअम (१८८१, टी. फिपसन), क्रोडोनिअम

(१८२०, आय. ट्राम्सडार्फ), डोनिअम (१८३६, ए. रीचर्डसन) एका-टेल्युरिअम (१८८९, जी. प्रॅट), इथेरिऑन (१८९८, सी. ब्रुश), लॅव्होसिअम (१८७७, जी. प्रॅट), ओसेनिअम (१९२३, ए. स्कॉट). पॅनक्रोमिअम अथवा एरिट्रोनिअम (१८०१, ए. डेल रायो), ट्रीनिअम (१८३६, जी. बोस), वेसबिअम (१८७९, ए. स्कॅकी).

वरीलपैकी काही नावे पुनःपुन्हा आलेली आहेत. (ऑस्ट्रिअम, वेस्टि-अम) अथवा खऱ्या मूलद्रव्यांच्या नावाशी मिळती जुळती आहेत. (ॲक्टि-निअम, रुदेनिअम). हे केवळ योगायोगानेच घडले. खूण असलेली मूलद्रव्ये महत्त्वाची आहेत. विश्लेषित नमुन्यामध्ये खरोखरच अज्ञात मूलद्रव्ये होती, पण त्यांची ओळख पटली नाही. या मूलद्रव्यांना खोटी मूलद्रव्ये असे म्हण-ण्यापेक्षा मान्यता न मिळालेली मूलद्रव्ये असे म्हणणे उचित ठरेल. ॲमॅरि-लिअम आणि डेव्हिअम यांना ऱ्हेनिअमचे तर निप्पोनिअमला हाफ्निअमचा पूर्वसूचक म्हणता येईल.

या खोट्या मूलद्रव्यांचा शोध मात्र योग्य रीतीने केलेल्या प्रयोगांमधूनच लागला. परंतु या प्रयोगांतून मिळालेल्या निष्कर्षाचे योग्य मूल्यमापन झाले नाही. जुन्या रासायनिक व भौतिक वाङ्मयात कधीही न शोधलेल्या मूलद्रव्यांचा उल्लेख आढळतो. त्यांना गृहितक मूलद्रव्ये म्हणतात. एखाद्या क्रियेचे स्पष्टीकरण करण्याकरता त्यांचे अस्तित्व गृहित धरले होते (जसे, कोरोनिअम, नेब्यूलिअम, ॲस्टेरिअम, आर्कोनिअम आणि प्रोटोफ्ल्युओरिन या मूलद्रव्यांचे अस्तित्व निरनिराळ्या अवकाशीय वस्तूंमध्ये आहे असे गृहित धरले होते). अर्थात, रासायनिक मूलद्रव्यांच्या इतिहासावर मात्र त्यांचा परिणाम झाला नाही.


C. Scheele
A. Lavoisier
J. Berzelius
H. Davy
R. Bunsen
W. Ramsay
D. Mendeleev
M. Curie
E. Rutherford
G. Seaborg
G. Flerov